

Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena



ExWoSt-Modellprojekt

Jenaer Klimaanpassungsstrategie JenKAS



Projektleitung

Uwe Kurmutz (ab November 2010)
Dr. habil. Martin Gude (bis Oktober 2010)

Unter Mitarbeit von

Jakob Maercker
Daniel Knopf
Dr. Stefan Knetsch

Mit Beiträgen von

Oliver Gebhardt (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ) –
Kapitel 10 und 11.1
Hartmut Kober (Stadt Jena, Fachdienst Stadtentwicklung) – Kapitel 7.1
Dr.-Ing. habil. Matthias Lerm (Stadt Jena, Fachbereichsleiter
Stadtentwicklung und Stadtplanung) – Kapitel 6.2
Frank Reinhardt (Thüringer Klimaagentur) – Kapitel 2.1
Yvonne Sittig (Stadt Jena, Fachdienst Stadtentwicklung) – Kapitel 7.1
Birgit Vetter (Stadt Jena, Fachdienst Umweltschutz) – Kapitel 7.2

ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH

Leutragraben 1
07743 Jena

Im Auftrag der
Stadt Jena
Am Anger 15
07743 Jena

Gestaltung:
timespin Digital Communication GmbH
www.timespin.de

September 2012

Handbuch

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena

Erstellt durch
**ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit
und Klimaschutz**



INHALTSVERZEICHNIS

GRUSSWORT	4
ZUM GELEIT	5
1. EINFÜHRUNG	6
2. RAHMENBEDINGUNGEN UND TRENDS	10
2.1 Klimaschutz und Klimaanpassung	10
2.2 Demographischer Wandel	12
2.3 Finanzielle Umsteuerung	13
3. DAS STADTKLIMA	15
3.1 Das Stadtklima und seine Besonderheiten	15
3.2 Lokalklima Jenas	19
4. KLIMAWANDEL	27
4.1 Hintergrund und globale klimatische Veränderungen	27
4.2 Lokale klimatische Auswirkungen des Klimawandels	29
5. AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF JENA	32
5.1 Klimawirkfolgen	32
5.1.1 Wärmebelastung	32
5.1.2 Hochwasser und Überschwemmungen	35
5.1.3 Trockenheit	39
5.1.4 Erosion	43
5.1.5 Extremniederschläge	45
5.1.6 Massenbewegungen	46
5.1.7 Hohe Betroffenheiten im Stadtgebiet	48
5.2 Auswirkungen in den Handlungsfeldern	50
5.2.1 Siedlungsentwicklung und Bauwesen	50
5.2.2 Natur- und Umweltschutz	51
5.2.3 Wasserwirtschaft und -haushalt	51
5.2.4 Land- und Forstwirtschaft	52
5.2.5 Verkehr und Infrastruktur	53
6. KLIMAWANDELGERECHTE STADTENTWICKLUNG	54
6.1 Städtebauliche Leitbilder im Klimawandel	54
6.2 Jena – klimagerecht	56
6.3 Climate proofing	58
7. RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND INSTRUMENTE DER KLIMAWANDELANPASSUNG	60
7.1 Baugesetzbuch	60
7.2 Landschaftsplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung	64

8. JELKA – DAS ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGS- WERKZEUG FÜR LOKALE KLIMAWANDELANPASSUNG	66
8.1 Priorisierung der Handlungsempfehlungen im JELKA	67
8.2 Handhabung des Werkzeugs	69
9. HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DAS STADTGEBIET	71
9.1 Planungshinweise für das Stadtgebiet	71
9.2. Empfehlungen für die Handlungsfelder	75
9.2.2 Natur- und Umweltschutz	76
9.2.3 Wasserwirtschaft und -haushalt	77
9.2.4 Land- und Forstwirtschaft	77
9.2.5 Verkehr und Infrastruktur	78
9.3 Empfehlungen für einzelne Klimawirkfolgen	79
9.3.1 Wärmebelastung	79
9.3.2 Hochwasser und Überschwemmungen	80
9.3.3 Trockenheit	81
9.3.4 Erosion	81
9.3.5 Extremereignisse	82
9.4 Empfehlungen für einzelne Ortsteile	83
10. WEITERFÜHRENDE BEWERTUNG UND PRIORISIERUNG VON KLIMAAANPASSUNGSMASSNAHMEN	114
10.1 Identifizierung der Betroffenheit	114
10.2 Ermittlung von Handlungsoptionen	115
10.3 Auswahl der Bewertungsverfahren und Bewertungskriterien	115
10.4 Datenerhebung	116
10.5 Bewertung und Priorisierung	116
11. GUTE BEISPIELE AUS JENA UND ANDEREN KOMMUNEN	119
11.1 Fallbeispiele aus Jena	119
11.2 Fallbeispiele aus anderen Kommunen	123
12. ZUSAMMENFASSUNG	128
LITERATUR	132
GLOSSAR	137
ANHANG	140
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	150
TABELLENVERZEICHNIS	151

GRUSSWORT

Dr. Albrecht Schröter
Oberbürgermeister



Liebe Bürgerinnen und Bürger,

Jena ist bereits weit vorangeschritten beim Klimaschutz. Das zeigt sich unter anderem darin, dass es Jena als einer von nur fünf deutschen Städten gelungen ist, zum zweiten Mal den European Energy Award in Gold in Folge zu erhalten. Das sich global ändernde Klima erfordert es, sich auf die Folgen einzustellen. Die Sommer werden potentiell wärmer, Unwetter stärker, die Winter feuchter und trotzdem immer noch lang und kalt. Unsere Stadt ist bisher nicht ausreichend auf diese Veränderungen eingestellt, da in der Vergangenheit andere Wetter- und Klimaannahmen galten. Das ExWoSt-Forschungsvorhaben, bei dem Jena Modellkommune war, hat uns in die Lage versetzt, die notwendigen Anpassungsschritte ausgewogen und umfassend vorzubereiten.

Das wissenschaftlich begleitete Forschungsprojekt, hat uns mit Partnern weit über unsere Stadt hinaus zusammengebracht. Diese Kooperationen haben uns bereichert, da wir verschiedene Strategien kennengelernt haben und uns dieser auch da bedienen werden, wo sie im Kontext der Jenaer Anforderungen und Bedingungen passen. Eines der Ergebnisse des Forschungsprojektes ist das Handbuch der klimawandelgerechten Stadtentwicklung, welches sie gerade in der Hand halten. Das Handbuch soll uns als Kommune dabei unterstützen, in jedem unserer Verantwortungsbereiche die Vorhaben zu identifizieren, welche mit einem angemessenen Aufwand große Effekte bei der Anpassung an den Klimawandel erzeugen - aber auch jene Vorhaben zu erkennen, bei denen diese Relationen nicht gerecht-

fertigt sind. Dabei gilt es stets sorgfältig abzuwägen zwischen dem Aufwand für Maßnahmen zur Vorsorge, Vermeidung oder zumindest verträglicher Bewältigung von Klimaveränderungen einerseits und dem Aufwand für Nachsorge oder Versicherung des Schadens auf der anderen Seite. Grundsätzlich erscheint es immer besser, einem sich abzeichnenden Wandel frühzeitig zu begegnen, indem alle Projekte so konzipiert werden, dass sie auch zukünftigen Umweltbedingungen entsprechen.

Alle Akteure sind gehalten, sich mit Augenmaß sowie der gebotenen Ernsthaftigkeit und unverzüglich auf die sich wandelnden Klimaverhältnisse vorzubereiten. Durch eine frühzeitige Prävention kann es uns gelingen, dass die notwendige Anpassung an die Folgen des Klimawandels nicht durch Naturkatastrophen erzwungen wird, sondern planerisch und vorausschauend durch einen allmählichen Übergang erreicht wird. Unser Ziel kann es dabei nicht sein, nur eventuell entstehende Schäden auszugleichen, sondern es muss möglich sein, wirtschaftlich belebende Effekte durch die Umsetzung von Anpassungslösungen zu generieren.

Ich lade Sie herzlich ein, das vorliegende Handbuch als Leitfaden zu nutzen, der uns alle dazu befähigt, rechtzeitig und umsichtig Prävention und Vorsorge zu leisten. Aus dem Klimawandel darf keine Klimakrise werden und je eher wir handeln, desto besser. Ich bin davon überzeugt, dass es gelingen wird, die gute Lebensqualität und hohe Leistungsfähigkeit unserer Stadt noch lange zu bewahren.

A handwritten signature in black ink that reads "Dr. Albrecht Schröter". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Dr. Albrecht Schröter
Oberbürgermeister

ZUM GELEIT

Katrin Schwarz

Dezernentin für Stadtentwicklung



Der Klimawandel bewegt die Gemüter. Die Signale der globalen Klimaerwärmung sind nicht mehr zu übersehen. Berichte über extreme Niederschläge, Überschwemmungen, zunehmende Stürme häufen sich. Hauptursache für die Klimaänderungen sind die bei der Strom- und Wärmeerzeugung durch Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas freigesetzten CO₂-Emissionen.

Um den Klimawandel zu stoppen, müssten bis 2050 die weltweiten CO₂-Emissionen um die Hälfte reduziert werden. Allein für Europa bedeutet dies eine Reduzierung um 80%. Die Europäische Union hat sich deshalb das Ziel gesetzt, ihren Treibhausgasausstoß bis zur Mitte des Jahrhunderts um 80 bis 95 Prozent zu senken. Das erfordert große Anstrengungen, denen wir uns alle gemeinsam stellen müssen. Die Aufgabe unserer Gesellschaft besteht darin, alles zu tun, um die Folgen des Klimawandels abzuwehren. Mit den erneuerbaren Energien wie Sonne, Wind, Holz, Wasserkraft und Biogas können wir CO₂ einsparen und somit den Klimawandel eindämmen. In erster Linie geht es vor allem um Energieeinsparung und Energieeffizienz. Mit den heute zur Verfügung stehenden Strategien und Techniken können die klimawirksamen Emissionen deutlich reduziert werden. Allerdings sind auch die Kosten des Klimaschutzes spürbar. Ein bloßes Abwarten würde jedoch wahrscheinlich erheblich teurer werden. Wir müssen daher den begonnenen Weg fortsetzen, um den globalen Temperaturanstieg auf maximal zwei Grad Celsius zu begrenzen. Es gilt: Je früher wir handeln, desto mehr Zeit bleibt uns für die notwendigen Anpassungen.

In Jena werden vielfältige Ziele, wie z.B. eine klimagerechte Stadt, eine Stadt der kurzen Wege und gute Erreichbarkeiten, kompakte und kostengünstige Siedlungsstrukturen und eine gute Infrastrukturausstattung mit einer nachhaltigen Stadtentwicklung verbunden. Die aktuelle demographische Situation mit dem unmittelbaren Nebeneinander von Wachstum und Schrumpfung, einer in weiten Teilen Deutschlands rückläufigen Bevölkerung sowie den hohen Kosten und Folgekosten der kommunalen Infrastruktur verlangen auch in unse-

rer Stadt nach neuen Strategien und umfassenden Kenntnissen für die Planung und Entwicklung. Planer und Architekten verfügen bereits heute über technische und energieeffiziente Lösungen. Investoren und Planer sind aber neben den fachlichen Herausforderungen auch zunehmenden ökologischen und ökonomischen Restriktionen ausgesetzt. Schnellere Entscheidungen und die Berücksichtigung komplexerer Zusammenhänge sind erforderlich. Bei allen Bemühungen wird man an den Veränderungen alter Denkweisen öfter als an technischen Schwierigkeiten scheitern.

Jena hat sich diesen Anforderungen in den letzten Jahren umfassend und offensiv gestellt und Grundlagen für weitere Entwicklungen gelegt. Im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprojektes „Urbane Strategien zum Klimawandel“ konnten wir, als eine von neun Modellkommunen, umfangreiche Daten erheben, zusammentragen und bewerten. Mit dem vorliegenden Handbuch stehen Datengrundlagen zur Verfügung, die es uns ermöglichen, Problemstellungen detaillierter zu erkennen und Maßnahmen für künftige Entwicklungen zu empfehlen bzw. einzuleiten.

Erkennbar ist, dass unser Erfolg im Klimaschutz mit dem Einsatz von uns allen steht und fällt. Wir müssen schnell und vor allem gemeinsam handeln. Aus diesem Grund unterstütze ich die Aktivitäten und die Erarbeitung der Publikation sehr und hoffe, dass viele Bürgerinnen und Bürger sich über die vielfältigen Möglichkeiten eines aktiven und besseren Klimaschutzes informieren und sich selbst engagieren. Ohne ihre aktive Mitarbeit können wir unser ehrgeiziges Ziel nicht erreichen. In diesem Sinne wünsche ich uns allen ein gutes Gelingen und viel Erfolg.

A handwritten signature in blue ink that reads "Katrin Schwarz". The signature is written in a cursive style.

Katrin Schwarz

Dezernentin für Stadtentwicklung

Entstehung des Projektes

Die Stadt Jena befasst sich bereits seit geraumer Zeit intensiv mit dem Thema Klimaschutz und hat im Rahmen des Wettbewerbs um den European Energy Award (EEA) einen umfangreichen Maßnahmenkatalog erarbeitet. Der fortschreitende Klimawandel verdeutlicht, dass die Reduzierung von Treibhausgasemissionen zur Minderung des Klimawandels allein nicht ausreichen wird. In zunehmendem Maße wird deutlich, dass Strategien zur Anpassung an den globalen Klimawandel auch auf regionaler und lokaler Ebene ergriffen werden müssen. Die auf nationaler Ebene geschaffene Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) stützt diese Erkenntnis ebenso wie das Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm.

Spätestens seit dem letzten Bericht des Weltklimarates IPCC (2007a) ist nicht nur die Existenz eines **anthropogen induzierten Klimawandels** weithin akzeptiert, sondern auch das Faktum, dass diese Klimaänderungen bereits stattfinden. Dies betrifft globale Erscheinungen wie z. B. den durch Temperaturanstieg und Eisschmelze bedingten Meeresspiegelanstieg ebenso wie regionale Effekte. In Mitteleuropa und speziell in den Thüringer Regionen außerhalb der Mittelgebirge zeichnen sich bei der Analyse der Messdaten von Klimastationen aus den vergangenen 100 Jahren ebenfalls langfristige Trends ab, die besonders starke Änderungen in den jüngsten Dekaden aufweisen. Diese Trends entsprechen im Wesentlichen den für die Zukunft projizierten Entwicklungen der globalen Klimamodelle für Mitteleuropa. Es kann somit grundsätzlich festgestellt werden, dass die in den Klimamodellen skizzierten Entwicklungen bereits heute mess- und beobachtbar sind, und dass sich diese Entwicklungen in Zukunft verstärkt fortsetzen werden.

Die Stadt Jena, Fachbereich Stadtentwicklung und Stadtplanung, gab in Kenntnis dieser Problematik auf Grundlage des Stadtratsbeschlusses vom 22. April 2009 im Sommer 2009 eine **erste Studie** zur „Entwicklung eines Konzeptes zu integrierten Handlungsempfehlungen für Anpassung an Klimawandel und Klimaschutz in Jena“ bei

der Arbeitsgruppe Regionalklima und Nachhaltigkeit der Instituts für Geographie der Friedrich-Schiller-Universität in Auftrag.

In der Abschlussphase des Projektes bewarb sich die Stadt Jena zusammen mit dem Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz, als universitäre Ausgründung der Arbeitsgruppe Regionalklima und Nachhaltigkeit, Ende 2009 um die **Förderung eines Folgeprojektes** innerhalb des Forschungsfeldes „Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale“ des Forschungsprogramms „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt) des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und wurde als eine von bundesweit neun Kommunen ausgewählt, an diesem Modellprojekt teilzunehmen (Abbildung 1.1).



Abbildung 1.1: Modellkommunen des Forschungsschwerpunktes „Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale“ (Quelle: BBSR 2010)

Ziele und Grenzen des Projektes

Das Projekt unter dem Namen „JenKAS – Die Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie“ umfasste einen Zeitraum von Dezember 2009 bis



Abbildung 1.2: Workshop auf der ExWoSt-Konferenz „Hitze in der Stadt“ am 15. September 2011 in Essen (Quelle: S. Lorenz/ BPW baumgart+partner/BBSR 2011)

September 2012 und sollte aufbauend auf der Vorstudie von 2009 folgende Projektziele verwirklichen:

- *Einbeziehung der Auswirkungen des Klimawandels in die Stadtentwicklung und Erarbeitung einer lokalen Anpassungsstrategie an den Klimawandel,*
- *Verbesserung der Datengrundlagen für die Umsetzung einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung zur Nutzung fachlicher Entscheidungs- und Bemessungsgrundlagen,*
- *Sensibilisierung der Öffentlichkeit und Bereitstellung von Informationen über die Wirkfolgen des Klimawandels und mögliche Handlungsoptionen,*
- *Nutzbarmachung der Informationen und Daten zum Klimawandel sowie der Anpassungsoptionen durch ein Werkzeug zur kommunalen Entscheidungsunterstützung sowie ein „Handbuch einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung für Jena“.*

Der Weg zu diesen Zielen umfasste die Analyse der Mess- und Modellierungsdaten in einem lokalen Klimawandel-Gutachten, die Dokumentation und Bewertung der lokalen Auswirkungen des Klimawandels, die Ableitung von räumlich konkreten Handlungsempfehlungen z. B. unter Verwendung eines Entscheidungsunterstützungswerkzeugs, die akteursbezogene, kooperative Netzwerkbildung durch Workshops und Arbeitsgespräche mit lokalen Fachleuten und Entscheidungsträgern sowie Öffentlichkeitsarbeit in Form einer Internetseite, Flyer, Postern und Vorträgen auf Fachveranstaltungen, Zeitungs-, Radio- und TV-Beiträgen in lokalen und regionalen Medien. Gleichzeitig dienten bundesweite Workshops und Vernetzungstreffen dem fachlichen Austausch zwischen den Modellkommunen, der Bundesforschungsassistenz und den Vertretern des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Abbildung 1.2).

Die räumliche Zielebene des Projektes war Jena als Gesamtstadt. Es wurden alle bereits im Projekt JenKAS 2009 ausgewählten Hand-

lungsfelder beibehalten, um eine möglichst umfassende thematische Übersicht zu geben. Ein derart breiter Blick auf ein so komplexes Thema wie die Auswirkungen des Klimawandels und die Anpassung daran bringt es jedoch mit sich, dass nicht jede Klimawirkfolge, nicht jedes Handlungsfeld bis ins Detail beleuchtet werden kann. Dies muss Aufgabe von Folgeuntersuchungen, Teilkonzepten und Fachplanungen sein. JenKAS versteht sich vielmehr als Standortbestimmung, als die Schaffung von Grundlagen, als Anstoß, das Thema breiter in der Stadt aufzugreifen und den Prozess der Anpassung an den Klimawandel einzuleiten bzw. zu verstärken, damit Jena auch künftig seinen Bürgern eine hohe Lebensqualität bieten kann. Die im Ergebnis vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen verstehen sich als eben solche; es sind Empfehlungen für Anpassungsoptionen und damit weder vollständig noch umsetzungsfertig ausgearbeitet. Sie sollen den Planern und Akteuren Anregungen geben, können ihnen aber die tiefere Beschäftigung mit dem Thema und die Entscheidung für oder wider eine Anpassungsmaßnahme nicht abnehmen.

Kooperationen innerhalb des Projektes

Der Erfolg des Projektes ist das Ergebnis des Wirkens einer Vielzahl von Akteuren und Kooperationspartnern. Der Träger des Pilotprojektes „JenKAS – Die Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie“ war die **Stadt Jena, Fachbereich Stadtentwicklung und Stadtplanung** im Dezernat Stadtentwicklung. Das federführende Team „Grundlagen der Stadtentwicklung“ kooperierte im Projekt eng mit dem **Fachdienst Umweltschutz**. Darüber hinaus wurden entsprechend des integrierten Ansatzes interdisziplinär weitere, durch den Klimawandel berührte Verwaltungsbereiche themenspezifisch einbezogen.

Das **Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK)** fungierte im Projekt als lokale Forschungsassistenz und stellte die zentrale Anlaufstelle für die wissenschaftliche Begleitung und Koordination dar. In dieser Funktion erarbeitete es den größten Teil der wissenschaftlichen Inhalte und Projektprodukte, beriet die



Teil des Kooperationsprogramms mit dem Deutschen Wetterdienst: Nächtliche Messfahrten (Quelle: Maercker 2011)

Stadt hinsichtlich Entscheidungen im Kontext von Lokalklima und Klimawandel und vertrat das Projekt nach außen, z. B. durch Poster, Vorträge und Veröffentlichungen.

Das **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)** betreut im Auftrag des **Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)** das Forschungsprogramm „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt), in dessen Forschungsfeld „Urbane Strategien zum Klimawandel“ das Modellprojekt „JenKAS“ angesiedelt war. Mit dem Forschungsprogramm ExWoSt fördert der Bund innovative Planungen und Maßnahmen zu wichtigen städtebau- und wohnungspolitischen Themen. Aus den Erfahrungen sollen Hinweise für die Weiterentwicklung der Städtebau- und Wohnungspolitik abgeleitet und der Wissenstransfer unterstützt werden. Die **Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)** und die in ihr integrierte Thüringer Klimaagentur waren die fachlichen Ansprechpartner für Fragen zu Klima und Klimawandel auf Landesebene. Beide sind auf unterschiedliche Arten mit dem JenKAS-Projekt verbunden. Zum einen stellten sie wichtige Grundlagendaten für die Betroffenheitsanalyse des Stadtgebietes bereit und wurden fachlich beratend tätig. Zum anderen gab das JenKAS-Projekt wertvolle Anregungen bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Freistaat Thüringen.

Mit dem **Deutschen Wetterdienst (DWD)** konnte ThINK einen starken Kooperationspartner für das JenKAS-Projekt gewinnen. Ende 2010 wurde ein umfangreiches Kooperationsprogramm vereinbart, innerhalb dessen der DWD eine halbjährige Geländemesskampagne durchführte, stadtklimatologische Modellierungen mit den Modellen KLAM_21 zur Kaltluftdynamik und MUKLIMO_3 zur städtischen Überwärmung vornahm und einen abschließenden Bericht erstellte. Diese Ergebnisse (Kapitel 3.2 und 5.1.1) trugen dazu bei, die Erkenntnisse des durch ThINK erstellten Klimawandelgutachtens zu verifizieren und, wo notwendig, zu ergänzen und damit die erarbeiteten Ergebnisse auf ein breiteres fachliches Fundament zu stellen.

Das **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)** in Leipzig, im speziellen das Department Ökonomie, war als Kooperationspartner in das Bundesforschungsprojekt integriert und erstellte eine Expertise zu „Investitionsbedarf und gesellschaftlicher Rentabilität von Klimaanpassungsmaßnahmen in Städten“, wobei die Modellkommunen Jena und Aachen als Fallbeispiele dienten. In der Expertise wurden unterschiedliche Anpassungsoptionen für von den Klimawirkfolgen besonders betroffene Bereiche hinsichtlich ihrer Kosten und Nutzen analysiert und die effektivsten Maßnahmen priorisiert (Kapitel 10 und 11.1).

Die beiden Büros **BPW baumgart+partner** und **plan+risk consult** stellten die Bundesforschungsassistenz im Forschungsprogramm „Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale“ dar. Sie übernahmen die Organisation und Abwicklung des Projektes, z. B. in Bezug auf Berichtspflichten, Workshops und Tagungen und dienten als Mittler zum BBSR.

Weiterhin wurden Geodaten durch das **Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN)**, die **Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF)** und das **Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU)** bereitgestellt.

Lokaler Abstimmungsprozess

Da JenKAS eine gesamtstädtische Strategie darstellt wurde frühzeitig darauf geachtet, alle relevanten lokalen Akteure einzubeziehen und einen fortlaufenden Austausch zu etablieren. Dies begann bereits im Vorläufer-Projekt **JenKAS-2009**. Damals wurden lokale Akteure angeschrieben und in einem Fragebogen gebeten, Berührungspunkte zum Komplex Klimawandel und -anpassung darzulegen. Es folgten drei Expertenrunden, in denen Vertreter der einzelnen Handlungsfelder über den aktuellen Stand der Kenntnis zu Auswirkungen des Klimawandels in Jena informiert wurden und gleichzeitig die Gelegenheit hatten, im Gespräch die hinsichtlich Klimawandel

kritischen Handlungsebenen zu identifizieren. Später fand ein Workshop mit allen Akteuren statt, in dem erste Ergebnisse aus dem Projekt vorgestellt wurden und die weitere Vorgehensweise im Projekt diskutiert wurde. Zum Ende des Projektes folgte eine abschließende Abstimmung des Konzepts und seiner Ergebnisse.

Die Einbeziehung der lokalen Akteure im Projekt **JenKAS-ExWoSt** verlief ähnlich. Dazu fanden 2011 vier sogenannte Klima-Tische zu den Handlungsfeldern statt (30. Juni: Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz, Grünflächen; 8. September: Verkehr; 11. Oktober: Siedlungsentwicklung und Bauwesen; 13. Oktober: Infrastruktur). Auf ihnen bekamen die Vertreter der einzelnen Handlungsfelder Informationen zum aktuellen Projektstand; sie berichteten über ihre Erfahrungen und Betroffenheiten bzgl. des Klimawandels und diskutierten über mögliche Anpassungsoptionen. Dafür erhielten sie im Vorfeld eine handlungsfeldspezifische Auswahl an Handlungsempfehlungen, um deren Beurteilung hinsichtlich praxisorientierter Umsetzbarkeit und Anpassungseffektivität sie gebeten wurden. Auf den Veranstaltungen aufkommende Anregungen und Kritik flossen, wo sinnvoll und möglich, in den Arbeitsprozess ein, was u. a. zu Anpassungen der Inhalte und Formulierungen der Handlungsempfehlungen führte. Auf einem Akteursfachgespräch am 19. Juli 2012 erfolgte dann die abschließende Abstimmung zu den Ergebnissen des Projektes, insbesondere zu Karteninhalten, dem JELKA-Werkzeug und den Handlungsempfehlungen.

Während der gesamten Projektlaufzeit fanden zudem **monatliche Arbeitssitzungen** des Projektteams statt, auf denen Arbeitsstände und das weitere Vorgehen im Projekt diskutiert wurden. Daran nahmen neben Vertretern der lokalen Forschungsassistenz und der Stadt Jena auch regelmäßig Repräsentanten der Kooperationspartner (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie bzw. Thüringer Klimaagentur, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung) teil. Je nach thematischem Inhalt der Sitzung wurden weitere Fachvertreter der Stadt Jena zur Abstimmung hinzugezogen.

Allen beteiligten Akteuren und Kooperationspartnern sei an dieser Stelle für ihre wertvolle inhaltliche und kontinuierliche Mitarbeit im Projekt „JenKAS – Die Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie“ gedankt. Ohne ihren Beitrag wäre das Projekt nicht in diesem Umfang und dieser Qualität möglich gewesen.

Handbuch und weitere Produkte

Das vorliegende Handbuch ist eines der **Endprodukte des Projektes** und fasst die Ergebnisse der Arbeit zu diesem Thema zusammen. Weitere Produkte des Projektes stellen das umfassende Kartenwerk (in diesem Handbuch und auf der beiliegenden CD), das Entscheidungsunterstützungswerkzeug JELKA mit seinen Empfehlungskata-

logien (ebenfalls auf der CD und teilweise im Handbuch enthalten), die umfangreiche Untersuchung des Deutschen Wetterdienstes (DWD, zum Teil in diesem Handbuch veröffentlicht), die Expertise des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ, auszugsweise in diesem Handbuch vorgestellt) und die projektbegleitende Internetseite (www.jenkas.de) dar.

Das **Handbuch** gliedert sich in zahlreiche Fachkapitel, wobei zu Anfang die wesentlichen Rahmenbedingungen dargestellt werden, unter denen Anpassung an den Klimawandel in der Praxis gestaltet werden muss (Kapitel 2, ab Seite 10). Im Anschluss werden in Kapitel 3 (ab Seite 15) zuerst die Besonderheiten des Stadtklimas allgemein und danach die lokalklimatischen Verhältnisse Jenas erläutert. Kapitel 4 (ab Seite 27) geht kurz auf die Hintergründe der globalen klimatischen Veränderungen ein, bevor daraus folgend deren Bedeutung für Jena erörtert wird. Welche konkreten Auswirkungen die Veränderung der meteorologischen Parameter für das Stadtgebiet nach sich ziehen kann, wird für die verschiedenen relevanten Klimawirkfolgen bzw. städtischen Handlungsfelder in Kapitel 5 (ab Seite 32) dargestellt. Die Betrachtung einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung aus planerischer Sicht ist Gegenstand des Kapitels 6 (ab Seite 54). Dies wird mit den rechtlichen Grundlagen und Instrumenten, derer sich die Umsetzenden bedienen können, in Kapitel 7 (ab Seite 60) weiter unterlegt. Die Funktionsweise und Handhabung des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs JELKA wird anschließend in Kapitel 8 (ab Seite 66) erläutert. Darauf folgen mit Kapitel 9 (ab Seite 71) umfangreiche Handlungsempfehlungen zur Anpassung, aufbereitet für die Perspektiven „Handlungsfelder“, „Klimawirkfolgen“ und „Ortsteile“. Eine mögliche, weiterführende Priorisierung dieser Handlungsempfehlungen hin zur konkreten Umsetzung vor Ort umreißt das Kapitel 10 (ab Seite 114). Zwei Jenaer Fallbeispiele, die den Prozess von der Problemidentifikation über die Vorauswahl möglicher Anpassungsoptionen bis hin zur konkreten Bestimmung der Maßnahmendetails beschreiben, werden in Kapitel 11 (ab Seite 119) vorgestellt. Zudem werden weitere Fallbeispiele anderer Kommunen skizziert, die wertvolle Anregungen zum Umgang mit Klimawirkfolgen geben und zur Nachahmung anregen. Abschließend findet sich ab Seite 137 ein Glossar mit häufig im Kontext von Klimawandel und Anpassung gebrauchten Fachbegriffen sowie im Anhang ab Seite 140 der Gesamthandlungskatalog in Kurzform.

2.

Die Anpassung an den Klimawandel findet nicht losgelöst von gesellschaftlichen Trends und Bedingungen statt. Um sie erfolgreich zu gestalten, müssen äußere Bedingungen beachtet werden. Zum einen sind Ergebnisse von Klimaprojektionen und damit die Abschätzung konkreter Auswirkungen noch immer mit Unsicherheiten behaftet, die umso größer werden, je kleiner der Betrachtungsraum wird. Hier kann die Fokussierung auf die Umsetzung von „No regret“- bzw. „Low regret“-Maßnahmen helfen. Andererseits darf man sich, auch bei relativ gesicherten Erkenntnissen wie steigenden Temperaturen in Städten, nicht der Illusion hingeben, dass Klimawandelanpassung künftig höchste Priorität in der Stadtpolitik genießen wird. Anpassung an den Klimawandel ist und bleibt ein Abwägungsbelang unter vielen. Umso wichtiger ist es für die Erreichung von Anpassungszielen, Reibungsflächen zu minimieren (z. B. zum Klimaschutz), Synergien zu anderen Belangen zu nutzen (z. B. im Rahmen des Stadtbbaus) und Anpassungsaktivitäten beharrlich zu verfolgen, um langfristig ein Problem- und, viel wichtiger, ein Lösungsbewusstsein bei Entscheidern und Bürgern zu etablieren.

2.1 KLIMASCHUTZ UND KLIMAAANPASSUNG

Die Vielzahl der Konsequenzen, die sich durch den Klimawandel ergeben, ist derzeit und im Detail kaum abschätzbar. Neben der zukünftigen wirtschaftlichen Entwicklung wirken viele Effekte der Globalisierung mit. Darüber hinaus ist das Klimasystem von Rückkopplungen geprägt, die die globale Erwärmung entweder verstärken oder abschwächen. Wie groß das **Ausmaß der Klimaveränderungen** in Zukunft sein wird, hängt entscheidend von der Reduzierung des durch anthropogene Prozesse hervorgerufenen Anteils der Treibhausgase in der Atmosphäre ab. Selbst bei größten Anstrengungen im Klimaschutz werden die Folgen der Klimaerwärmung für die nächsten Generationen spürbar sein.

Die Anpassung an die Auswirkungen des projizierten Klimawandels (Adaption) kann und darf deshalb nicht losgelöst vom Klimaschutz

(Mitigation) gedacht und umgesetzt werden. Nur ein erfolgreicher Klimaschutz kann den Klimawandel und seine Folgen nachhaltig abmildern. **Klimaschutz** muss folglich ein Ziel der Stadtentwicklungspolitik darstellen; Klimaschutzaktivitäten müssen unterstützt und klimaschädliche Entwicklungen vermieden werden (SSB 2011). Klimaschutzstrategien beinhalten deshalb Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (Reduktion des Energieverbrauchs durch Steigerung der Energieeffizienz und Vermeidung energieintensiver Aktivitäten) und dem Übergang zu erneuerbaren Energiequellen. Gleichzeitig ist jedoch auch die Sicherung von natürlichen (z. B. Moore, Wälder) und technischen (z. B. Carbon Capture & Storage – CCS) Treibhausgasen zielführend. Neben Klimaschutzinstrumenten wie dem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien (EEG) trägt auch die Raumordnung zum Klimaschutz bei. Dies geschieht vor allem durch die räumliche Steuerung erneuerbarer Energien (z. B. durch Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Solar- und Windkraft) und die Entwicklung und Umsetzung energieeffizienter Raum- und Siedlungsstrukturen (z. B. kompakte Stadt, Stadt der kurzen Wege). Auf der konkreten Ebene der Bauleitplanung bieten Baugesetzbuch und Baunutzungsverordnung (BauGB bzw. BauNVO, siehe auch Kapitel 7.1) Möglichkeiten, Festlegungen zum Klimaschutz bei der Siedlungsentwicklung zu integrieren. In vielen Kommunen und Regionen wird der Klimaschutz inzwischen auch über Kommunale oder Regionale Energiekonzepte (KEK bzw. REK) forciert (Birkmann et al. 2011).

Die Stadt Jena beteiligt sich seit 2005 am **European Energy Award (EEA)** und wurde 2006 zertifiziert. Im Jahr 2007 folgte die Auszeichnung in Gold, im Jahr 2010 wurde diese erneuert (Abbildung 2.1). 2007 wurde zudem ein Leitbild Energie und Klimaschutz beschlossen, was in der Erstellung eines Energiekonzeptes mündete (BSU 2011). Es umfasst Klimaschutzmaßnahmen zur Verringerung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen. Mittels dieser ist ein Minderungspotenzial von 20% bis 2017 erreichbar (ohne Indust-



Abbildung 2.1: Re-Zertifizierung der Stadt Jena mit dem European Energy Award in Gold im Januar 2011 (Quelle: Stadt Jena)

rie und produzierendes Gewerbe) (DIFU 2012). Eine Betrachtung zu Klimaschutzpotenzialen erneuerbarer Energien liegt für Jena bisher nur im Rahmen einer Studie für die Regionale Planungsgemeinschaft Ostthüringen vor.

Auf Bundes- und Landesebene wird spätestens seit dem Reaktorunfall in Fukushima 2011 die **Energiewende** – und damit der Klimaschutz – vorangetrieben, in Thüringen z. B. durch das Energiekonzept Thüringen 2020. Dies findet im Landesentwicklungsprogramm 2025 seine raumplanerische Entsprechung. Hier werden Mengenvorgaben für erneuerbare Energien für die vier Planungsregionen Thüringens festgeschrieben und konkrete Flächen für Solar- und Windkraftparks ausgewiesen (TSK 2011).

Neben gezielten Klimaschutzaktivitäten müssen die Menschen lernen, mit den unvermeidlichen Folgen des Klimawandels umzugehen und sich darauf einzustellen. In der Koalitionsvereinbarung der Landesregierung wird deshalb ausgeführt, dass Klimaschutz und die Implementierung des Klimaanpassungsprogramms einen Schwerpunkt der Umweltpolitik in der Legislaturperiode bilden. Insbesondere gilt es, die Maßnahmen des 2009 verabschiedeten **Thüringer Klimaanpassungsprogramms** (Abbildung 2.2) öffentlich zu diskutieren und in den nächsten Jahren zielgerichtet umzusetzen. Die in diesem Zusammenhang eingerichtete Thüringer Klimaagentur arbeitet seit 2011 an der Erstellung einer effektiven Anpassungsstrategie mit dem Ziel, Anpassungsmaßnahmen für den Freistaat Thüringen in Abstimmung mit den Vertretern der Handlungsfelder Menschliche Gesundheit, Wasserwirtschaft, Boden, Landwirtschaft, Wald- und Forstwirtschaft, Naturschutz, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Tourismus, Energiewirtschaft, Bauwesen, Katastrophenschutz, Raumordnung und Landesplanung abzuleiten. Am Anfang steht eine gründliche Analyse und vergleichende Bewertung tatsächlicher Risiken/Chancen durch den Klimawandel, wobei ein fachkundiger Umgang mit den Unsicherheiten in den Klimaprojektionen einzuhalten ist.

Bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen sind insbesondere die Synergien und Konflikte zwischen den Handlungsfeldern zu beachten.

In dem auf Landesebene laufenden Abstimmungsprozess gehen die **Erfahrungen aus Projekten** ein, die bereits, insbesondere in Thüringen, durchgeführt wurden oder noch laufen und sich mit Klimafolgen und Klimaanpassungsmaßnahmen beschäftigen. Als herausragendes Beispiel ist dabei das Projekt zur Erstellung der Jenaer Klima-Anpassungs-Strategie (JenKAS) zu nennen. Für eine urban geprägte Region mit hoher Betroffenheit hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels entstanden wichtige Erfahrungen für die Planung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Sie sollen nicht nur beispielhaft für Kommunen sein, sondern insgesamt zur Etablierung des notwendigen Klimaanpassungsprozesses in Thüringen beitragen. Die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie in Jena unterstützte diesen Prozess mit vielfältigen Umweltdaten und durch die aktive Beteiligung der Thüringer Klimaagentur.



Abbildung 2.2: Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm (Quelle: TMLNU 2009)

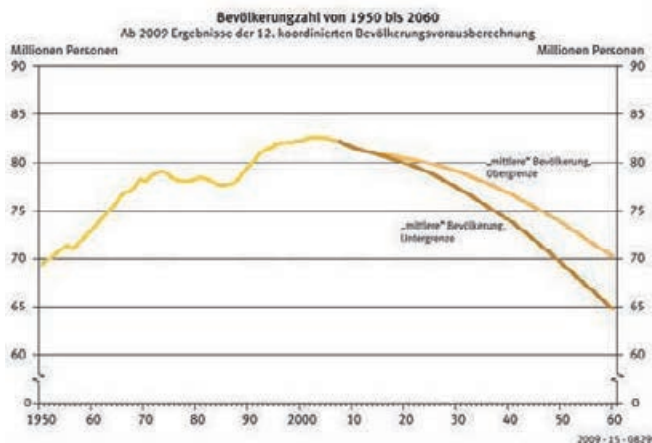


Abbildung 2.3: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis 2060 (Quelle: SBA 2009)

Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel müssen ganzheitlich angegangen werden. Sie weisen Synergien, aber auch Konfliktpotenzial auf. Es ist notwendig, alle Entscheidungsträger frühzeitig für dieses Konfliktpotenzial zu sensibilisieren, jedoch noch wichtiger, **positive Synergien** aufzuzeigen und zugänglich zu machen. „Die Verminderung von Treibhausgasen in allen Ländern ist damit die zentrale Voraussetzung, um langfristig die Anpassungsnotwendigkeiten und damit die Anpassungskosten gering zu halten. Damit sind beide Wege – Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel – untrennbar miteinander verbunden“ (BR 2008:5).

2.2 DEMOGRAPHISCHER WANDEL

Die Bevölkerung der **Bundesrepublik Deutschland** nimmt seit 2003 ab. Diese Entwicklung wird anhalten und sich verstärken (Abbildungen 2.3 und 2.4). Lebten Ende 2008 noch etwa 82 Mio. Menschen in der Bundesrepublik, werden es nach aktuellen Prognosen im Jahr 2060 nur noch zwischen 65 bis 70 Mio. sein (SBA 2009). Die Bevölkerungsentwicklung stellt damit eine wesentliche Randbedingung für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung dar. Das Ansteigen oder Abfallen der Bevölkerungszahl eines Raumes steht in direktem Zusammenhang mit dem benötigtem Wohnraum und damit mit der für Wohnzwecke benötigten (vollversiegelten) Grundfläche. Eine Stadt mit sinkender Einwohnerzahl weist mehr Wohnungsleerstand auf und somit Gebäude die auf lange Sicht rückgebaut werden können. Auch wenn die Pro-Kopf-Wohnfläche steigt (für Thüringen von 28,7 im Jahr 1990 auf 38,0 m² Ende 2004 [TMBV 2006]), dürften in Zukunft noch immer freiwerdende Flächen für eine Neuverwendung zur Verfügung stehen. Diese können genutzt werden, um klimatische Belange räumlich stärker zu berücksichtigen. So können neue Grünflächen, kleine Parks oder sogar Grünzüge und damit potenzielle Belüftungsschneisen geschaffen werden, die das lokale Klima verbessern und das Wohnumfeld aufwerten. In Regionen mit Bevölke-

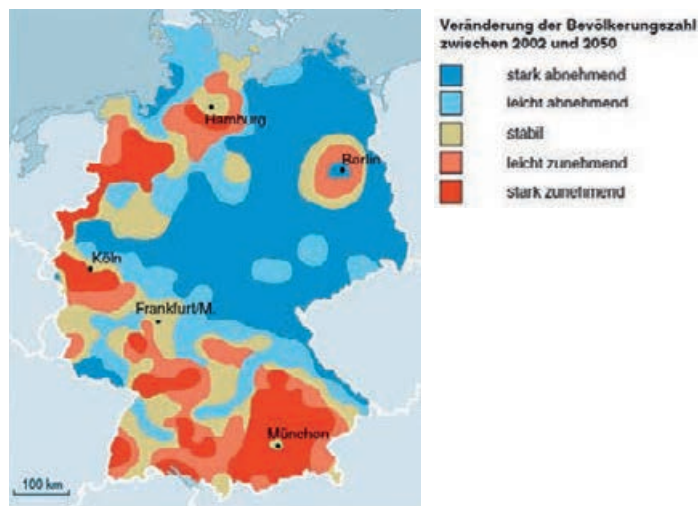


Abbildung 2.4: Räumlicher Trend der Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis 2050 (Quelle: BBR 2005)

rungsrückgang wird diese Strategie auch heute schon im Rahmen des Stadtbbaus erfolgreich umgesetzt.

Die Bevölkerungsentwicklung ist auch in **Thüringen** insgesamt rückläufig. Anders stellt sich die Situation in **Jena** selbst dar. Seit Jahren verzeichnet die Stadt einen positiven Wanderungssaldo aufgrund überregional attraktiver Faktoren wie Universität und Technologieansiedlungen. Auch die Geburten übersteigen die Sterbefälle, so dass sich die für die Landkreise und kreisfreien Städte Thüringens besondere Situation einer positiven natürlichen und räumlichen Bevölkerungsentwicklung ergibt (TMBLV 2011). Das Thüringer Landesamt für Statistik bezifferte die Einwohnerzahl Jenas für Mitte 2011 mit 104.806 und geht für 2030 von etwa 111 Tsd. Einwohnern aus (TLS 2009). In der Folge besteht eine hohe Nachfrage nach Wohnraum und Bedarf an Wohnbauflächen. Dieser Trend dürfte auch in den nächsten Jahren weiter anhalten. Im Ergebnis ist der Rückbau leerstehender Gebäude, wie er in vielen Städten praktiziert wird, für Jena vorerst keine Option.

Neben der Bilanz aus Geburten, Sterbefällen, Zu- und Wegzügen spielt jedoch auch die **Altersstruktur** eine wichtige Rolle im Kontext des Klimawandels. Die Überalterung ist ein wesentliches Merkmal des demographischen Wandels. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil der jüngeren Jahrgänge geringer wird und der Anteil der älteren Menschen an der Bevölkerung steigt (BBR 2005). Als Konsequenz aus der Überalterung der Bevölkerung wird künftig auch die Zahl der Personen steigen, die von Hitzebelastung betroffen sind, da ältere Menschen diesbezüglich die wichtigste Risikogruppe darstellen. Als direkte Folge der Hitzewelle des Jahrhundertsommers 2003 starben etwa 23.000 Menschen in Europa, wovon rund 20.000 ältere Menschen waren (MUNLV NRW 2010). In Zukunft ist damit zu rechnen, dass solche extremen Hitzewellen häufiger auftreten werden, was mit entsprechenden Auswirkungen auf die Bevölkerung verbunden sein könnte.

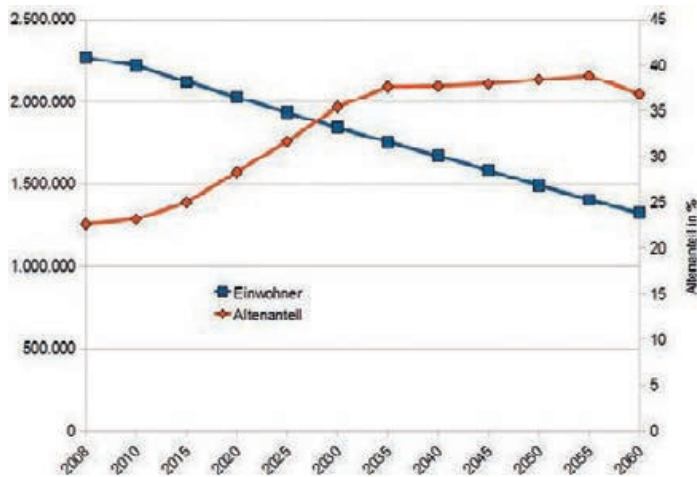


Abbildung 2.5: Entwicklung der Gesamtbevölkerung und des Anteils der ab-65-Jährigen in Thüringen bis 2060 (Quelle: TLS 2008)

Für die Bundesrepublik trifft der **Trend der Überalterung** der Bevölkerung genauso zu wie für Thüringen. Die Abbildung 2.5 zeigt die allgemeine Bevölkerungsentwicklung in Thüringen im Kontrast zur Veränderung des Anteils der ab-65-Jährigen. Der Anteil der ab-65-Jährigen wird demnach bis etwa 2055 ansteigen. In Jena selbst ist dieser Trend infolge von Zuzügen (Studenten) und Geburten abgeschwächt (Thüringen: 2005: 25,0 %, 2020: 36,7 %; Jena: 2006: 14,0 %, 2020: 15,9 % [Stadt Jena 2007]).

In der Summe bietet der demographische Wandel im allgemeinen **Chancen und Risiken** in Bezug auf die Auswirkungen des Klimawandels. Erstere müssen durch eine auf die Zukunft orientierte Stadtentwicklung genutzt werden um zu helfen, letztere zu reduzieren. In Jena stellt sich die Situation jedoch anders dar. Die Bevölkerungsentwicklung wird für Jena bis mindestens 2030 als positiv angesehen, so dass die Chancen des Rückbaus und die Verwendung der Flächen zur Verbesserung des lokalen Klimas in den nächsten Jahren als nicht wahrscheinlich anzusehen sind. Gleichzeitig wird jedoch die Alterung der Bevölkerung auch Jena betreffen, was einen verstärkten Einfluss der demographischen Randbedingungen bedeutet.

2.3 FINANZIELLE UMSTEUERUNG

Mit dem projizierten Klimawandel werden auch Extremereignisse wie Starkregen, Hochwasser, Sturm und Hagel zunehmen und/oder intensiver werden und mit ihnen die **verursachten Schäden** (Abbildung 2.6). Doch auch in den letzten Jahren waren die Auswirkungen solcher Ereignisse bereits wahrnehmbar. Dies belegen nicht nur Wetteraufzeichnungen, sondern auch die Bilanzen der Versicherer. Danach verdoppelte sich 2010 die Anzahl der Schadensfälle infolge von Naturgewalten in der Bundesrepublik auf etwa 1,3 Mio. Gleichzeitig zahlten Hausrat- und Wohngebäudeversicherer im selben Jahr rund 1,5 Mrd. Euro für Sturm-, Hochwasser- und Starkregenschäden an ihre Versicherten aus (GDV 2011a). Zum Vergleich: Das Elbehoch-

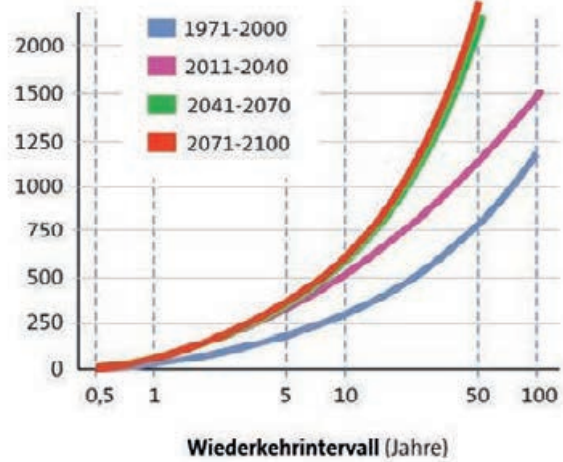


Abbildung 2.6: Mittlerer Schaden pro Wiederkehrintervall für Hochwasserereignisse (Mittelwerte aus mehreren hydrologischen Modellierungen, Werte in Millionen Euro) (Quelle: GDV 2011b)

wasser 2002 erzeugte 1,8 Mrd. Euro Versicherungsschaden, der Sturm Kyrill 2007 sogar 2,4 Mrd. Euro in der Bundesrepublik (GDV 2011b). Vor diesem Hintergrund steht für Geschädigte immer häufiger die Frage nach Kompensation in Schadensfällen. Spätestens seit dem Elbehochwasser 2002 wird klar, dass die öffentliche Hand durch die steigende Anzahl von Schadensereignissen in Zukunft immer seltener in der Lage sein wird, Geschädigten **finanzielle Hilfe** zu leisten. Diese finanziellen Hilfen würden Mittel in Höhen binden, die Investitionen allgemeiner Art durch die öffentliche Hand zunehmend erschweren. In der Konsequenz bedeutet dies eine finanzielle Umsteuerung und in der Zukunft einen stärkeren Fokus auf der privaten Vorsorge. Die öffentliche Hand zahlt nur noch, wenn Risiken nicht versicherbar sind, so z. B. in Sachsen. Zinsvergünstigte Darlehen zur Schadensbeseitigung erhalten Betroffene nur, wenn es sich um Elementarereignisse mit überörtlicher Bedeutung handelt, die Bauten nicht in Überschwemmungsgebieten errichtet wurden und auch sonst keine erforderlichen Vorsorgemaßnahmen unterlassen wurden (z. B. Abschluss einer Versicherung, so dies möglich ist) (SSMI et al. 2011).

Mehr und mehr soll dem Hausbesitzer verdeutlicht werden, dass mit finanzieller Unterstützung immer seltener zu rechnen ist. Dies führte in den letzten Jahren in verschiedenen Bundesländern (Bayern, Sachsen, Niedersachsen) zu mehreren sogenannten Elementarkampagnen, die die Eigenvorsorge in den Mittelpunkt stellten. Durch die Erweiterung der individuellen Wohngebäude- und Hausratsversicherung sollen die Eigentümer künftig besser gegen Überschwemmung, Rückstau, Starkregen, Erdbeben u.ä. abgesichert sein. Bundesweit besitzen 25 % der Hauseigentümer eine derartige **Elementarschadenversicherung**. Diese Zahl kommt aber nur zustande, weil in den neuen Bundesländern und in Baden-Württemberg früher Elementarschäden obligatorisch mitversichert waren. In den restlichen Bundesländern liegt die Versichertenquote gerade einmal bei 10 %

(GDV 2011c). Nach Angaben der Versicherer würde eine Elementarschadenversicherung für ein normales Einfamilienhaus etwa 120 Euro im Jahr kosten (ebd.). Dies scheint angesichts existenzieller Finanzbelastungen im Falle eines Hochwassers allemal günstiger.

Eigenverantwortung wird künftig auch weit vor dem Schadensereignis nahegelegt. So sollen sich Hausbesitzer und Bauwillige künftig selbst informieren, welche Naturgefahren in ihrer Umgebung zu Schäden führen können und wie wahrscheinlich dies ist. Seit Mai 2012 gibt es, vorerst nur für Sachsen, das Online-Informationssystem „ZÜRS public“, auf dem dies einsehbar sein soll. Bevor das System bundesweit zuverlässige Aussagen liefert, wird jedoch noch einige Zeit vergehen.

In der Summe dürfte der öffentlichen Hand aufgrund steigender Schadensereignisse und -kosten in Zukunft immer weniger Geld zur Verfügung stehen, um Betroffenen im Schadensfall zu helfen. Der Rückzug des Staates und die wachsende Betroffenheit der Hausbesitzer werden künftig zu einer stärkeren **privaten Vorsorge** führen. Diese muss jedoch früher ansetzen als erst im Schadensfall und die gesamte Kaskade nachhaltigen Handelns gegenüber Klimarisiken umfassen: Veränderungen vermeiden (Klimaschutz), Verwundbarkeiten verringern (Anpassung), Unvermeidliches bewältigen (Krisenmanagement) und Unabwendbares versichern (Vorsorge).

Jede Art von Bebauung beeinflusst die verschiedenen Klimaelemente wie Temperatur, Niederschlag oder Wind. Dieser Einfluss nimmt mit dem Ausmaß der bebauten Fläche zu und führt durch Gebäude, Straßen und andere versiegelte Oberflächen zu einer charakteristischen klimatischen Ausprägung, dem Stadtklima. Dies hat weitreichende Auswirkungen auf die in Städten lebende Bevölkerung, aber auch auf die Fauna und Flora. Mit dem Stadtklima verbundene negative Folgen, wie verstärkte bioklimatische und lufthygienische Belastung, sind seit langem bekannt und werden seit mehreren Jahrzehnten verstärkt in der räumlichen Planung berücksichtigt. Die mit dem Klimawandel erwarteten Auswirkungen auf urbane Räume werden eine noch stärkere Beachtung der Thematik in der Planung notwendig machen.

3.1 DAS STADTKLIMA UND SEINE BESONDERHEITEN

„Der urbane Siedlungsraum verursacht im Vergleich zu seiner nicht bebauten Umgebung klimatische und lufthygienische Veränderungen, die allgemein unter dem Begriff ‚Stadtklima‘ zusammengefasst werden“ (Kuttler 2004:1). Ursachen für die Entstehung des **Stadtklimas** liegen in der räumlichen Vergrößerung der überbauten Erdoberfläche, die darauf zurückzuführende großflächige Versiegelung, die reduzierten Vegetations- und Wasserflächen und die Abgabe von Wärme und Spurenstoffen an die städtische Luft durch Verkehr, Hausbrand und Industrie. Dies führt zu einer herabgesetzten Verdunstung, einer durch die Stadtkulisse bedingten Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, der Veränderung des Strahlungs- und Energiehaushaltes, des turbulenten Austausches und der lufthygienischen und thermischen Veränderung der Stadtatmosphäre (MUNLV NRW 2010).

Die stadtklimatischen Besonderheiten sind das ganze Jahr über zu beobachten, bilden sich jedoch verstärkt während **windschwacher, sonnenscheinreicher Wetterlagen** mit ausgeprägtem Tagesgang

der Klimaelemente aus, den sogenannten autochthonen oder eigenbürtigen Wetterlagen. Diese sind charakteristisch für antizyklonale Großwetterlagen und kommen im Raum Jena an etwa 20 % der Tage pro Jahr vor.

Das Stadtklima zeichnet sich durch eine charakteristische Veränderung der Klimaelemente im Vergleich zum Umland aus (Tabelle 3.1). Dabei wird die Stärke der Veränderung durch eine Reihe von **makro-, meso- und mikroskaligen Faktoren** bestimmt. Auf Seite der makroskaligen Faktoren sind hier zu finden: die geographische Breitenlage bzw. die Klimazone, die Oberflächenformen und deren Beschaffenheit (Relief- und topographische Verhältnisse) und die Entfernung zu großen Wasserkörpern (Binnengewässer, Meer). Zu den meso- bis mikroskaligen Einflussgrößen zählen vor allem die räumliche Größe der Stadt und deren Einwohnerzahl, die Art der urbanen und ruralen Flächennutzungen, die kleinräumigen topographischen Verhältnisse, der Versiegelungsgrad, die Ausprägung der dreidimensionalen Strukturierung des Stadtkörpers und die Emissionsstärke von Luftschadstoffen und Abwärme (Kuttler 2004).

Städtische Energiebilanz

Die Zusammensetzung der Stadtluft, die Eigenschaften der verwendeten Baumaterialien und der durch die Bebauung veränderte Horizont modifizieren den **Energiehaushalt einer Stadt**. Dabei wird die Dauer der einfallenden Sonne durch den Schattenwurf der Bebauung reduziert, kann aber aufgrund ungünstiger Kombination von Ausrichtung, Höhe und Dichte der Gebäude auch zu extremen Verkürzungen führen. Die eintreffende Globalstrahlung wird durch die urbane Dunstglocke abgeschwächt, durch die Bebauung absorbiert und als

Wärme gespeichert. Die langwellige atmosphärische Gegenstrahlung ist dagegen in der Regel erhöht. Die UV-Strahlung wird aufgrund der verschmutzten urbanen Atmosphäre verstärkt gefiltert und weist damit, vor allem im Winter, niedrigere Werte als das Umland auf. Auch die turbulenten Ströme von fühlbarer und latenter Wärme sind in Städten stark modifiziert, wobei im Flächenmittel erstere überwiegen und letztere mangels Oberflächenwasser und Vegetation eingeschränkt sind (MUNLV NRW 2010).

Einflussgrößen		Veränderung gegenüber Umland		Einflussgrößen		Veränderung gegenüber Umland	
Strahlungs- und Wärmehaushalt				Hygrische Verhältnisse			
SONNENSCHNEINDAUER				LUFTFEUCHTIGKEIT		geringe Unterschiede	
- im Sommer		bis -8%		NEBEL			
- im Winter		bis -10%		- Großstadt		weniger	
GLOBALSTRAHLUNG		bis -10%		- Kleinstadt		mehr	
ALBEDO		geringe Unterschiede		NIEDERSCHLAG			
GEGENSTRAHLUNG		bis +10%		- Regen		mehr (leeseitig)	
UV-STRAHLUNG				- Schnee		weniger	
- im Sommer		bis -5%		- Tauabsatz		weniger	
- im Winter		bis -30%		- Verdunstung		weniger	
Sensibler Wärmestrom		bis +50%		Thermische Verhältnisse			
WÄRMESPEICHERUNG IM STADTKÖRPER		bis +40%		LUFTTEMPERATUR			
Austausch und Lufthygiene				- Jahresmittel		ca. +2 K	
WIND				- Winterminima		bis +10 K	
- Geschwindigkeit		bis -20%		IN EINZELFÄLLEN		bis +15 K	
- Richtungsböigkeit		stark variierend		DAUER DER FROSTPERIODE		bis -30%	
- Geschwindigkeitsböigkeit		erhöht		Bioklima			
LUFTVERUNREINIGUNGEN				VEGETATIONSPERIODE		bis zu 10 Tage länger	
- CO, NO _x , PM _x , AVOC		mehr		HUMANE WÄRMEBELASTUNG		mehr	
- O ₃		weniger (Spitzenwerte höher)		HUMANER KÄLTEREIZ		weniger	

Tabelle 3.1: Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (Quelle: MUNLV NRW 2010).

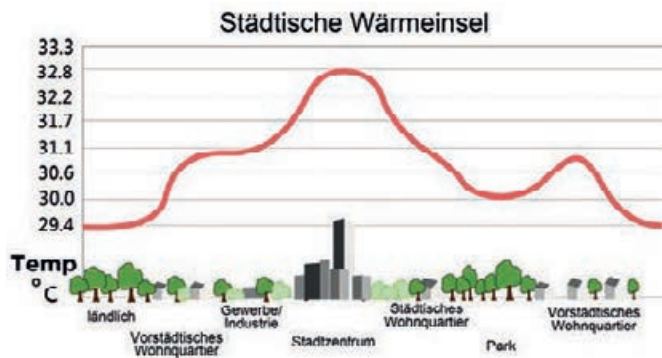


Abbildung 3.1: Struktur der städtischen Wärmeinsel
(Quelle: verändert nach Wikipedia 2011)

Städtische Wärmeinsel

Städte sind im Jahresmittel der Lufttemperatur um 1 bis 2 Kelvin wärmer als ihr Umland und stellen damit **Wärmeinseln (UHI – urban heat island)** dar. Die Ursache dafür liegt vor allem in der von den städtischen Baumaterialien gespeicherten Wärme der einfallenden Strahlung und damit in der veränderten urbanen Energiebilanz. Dieser Effekt wird stark von der Stadtgröße bzw. Einwohnerzahl, aber auch der Stadt- bzw. Siedlungsstruktur (besonders: Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte), der jeweiligen Wetterlage und Jahreszeit bestimmt (Abbildung 3.1). Je nach Konfiguration dieser Faktoren können, z. B. in Millionenstädten wie Berlin oder London, maximale Temperaturunterschiede von 10 K oder mehr auftreten (Abbildung 3.2). In Städten der mittleren Breiten ist der Wärmeinseleffekt vor allem während autochthoner Sommernächte deutlich ausgeprägt (MUNLV NRW 2010).

Städtisches Windfeld

Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit ist in Städten im Vergleich zum Umland durch die hohe Bodenrauigkeit (Bebauung) herabgesetzt. Die Bebauung sorgt zudem für prägnante Umlenkungs-, Kanalisierungs- und Düseneffekte in Straßenschluchten und vor Strömungshindernissen (Abbildung 3.3). Bei entsprechender Überwärmung des urbanen Gebietes und autochthoner Wetterlage kann es zur Ausbildung von Flurwinden kommen, d. h. einem System aufsteigender städtischer Warmluft und dem kompensierenden Zustrom kühlerer, bodennaher Luft aus dem Umland. In reliefiertem Gelände entstehen durch gravitativen Antrieb Hangwinde, bei entsprechendem Relief auch Berg-/Talwindssysteme (Abbildung 3.4). Diese **lokalen Windsysteme** spielen eine wichtige Rolle für die Belüftung der Stadt, sorgen sie doch, geeignete Luftleitbahnen vorausgesetzt, für einen effektiven Austausch überwärmter und lufthygienisch belasteter Luft (MUNLV NRW 2010, WMBW 2012).

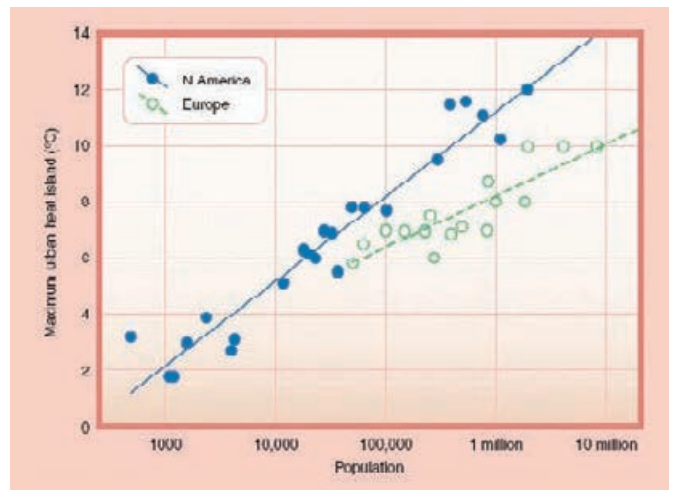


Abbildung 3.2: Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und maximaler Überwärmung von Städten (Quelle: UWM 2011)

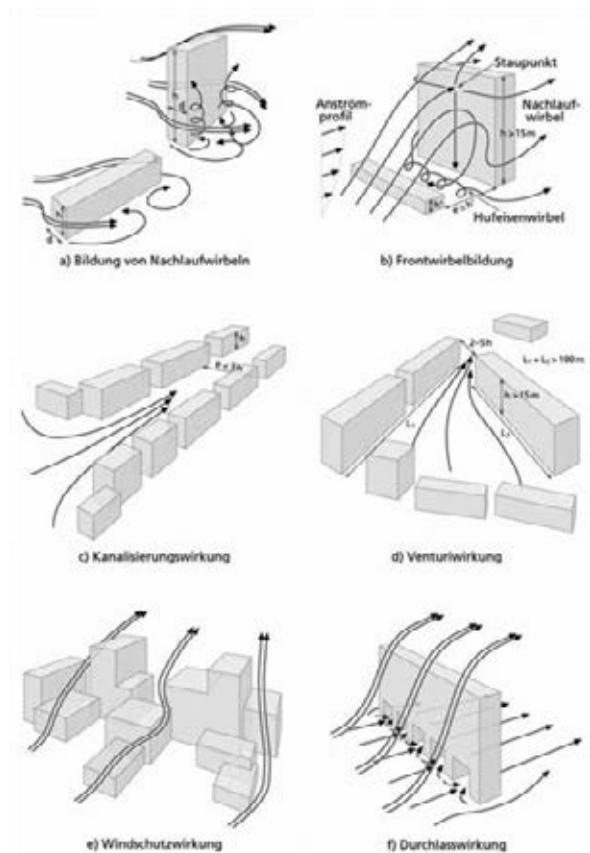


Abbildung 3.3: Modifikation des Windfeldes durch Bebauung
(Quelle: Gandemer 1977, verändert in MUNLV NRW 2010)

Städtischer Feuchtehaushalt

Durch die herabgesetzte Evapotranspiration in Städten weist auch die relative Luftfeuchte tagsüber geringere Werte auf als im Umland. Nachts ist der Taubesatz aufgrund der höheren Oberflächentemperaturen der Bebauung verzögert bzw. vermindert, so dass gleiche oder höhere relative Luftfeuchten zu beobachten sind. Nebel ist in Großstädten infolge der Luftreinhaltemaßnahmen der jüngeren Zeit seltener anzutreffen. Niederschläge hingegen sind auf der windab-

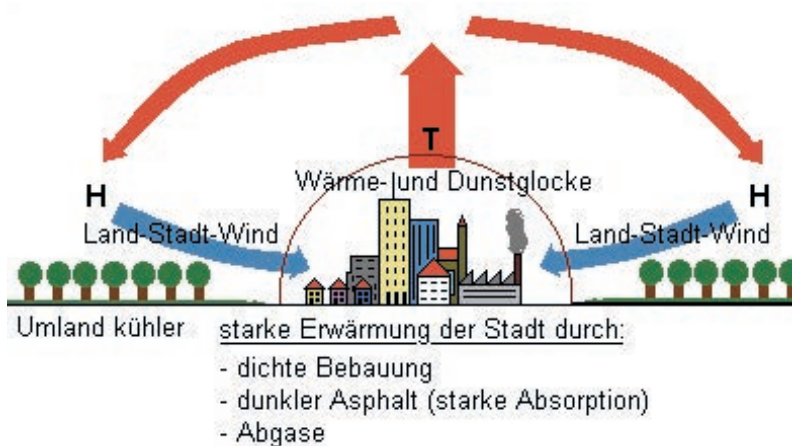


Abbildung 3.4: Flurwindsystem zwischen Stadt und Umland (Quelle: Forkel 2008)

gewandten Seite der Städte erhöht. Auch das **Abflussregime** ist in urbanen Räumen stark verändert. Durch den hohen Anteil versiegelter Flächen ist die Versickerung der Niederschläge und damit die Grundwasserneubildung stark vermindert, was gleichzeitig eine Erhöhung der Gefährdung von Überschwemmungen durch vermehrt oberflächlich abfließendes Wasser in der Stadt bedeutet (MUNLV NRW 2010).

Lufthygienische Situation

Die Luftzusammensetzung in Städten unterscheidet sich von der des Umlandes durch den verstärkten Eintrag anthropogener Spurenstoffe. Aktuell sind vor allem Stickoxide, Feinstaub, Ozon und organische Verbindungen von Bedeutung, während Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid in den letzten Jahren eine untergeordnete Rolle spielen. Städte stellen aufgrund ihres Energiebedarfs die bedeutendsten **Quellen anthropogener Treibhausgase** dar. Der überwiegende Anteil der Emittenten (Industrie, Gewerbe, Haushalte, Handel, Teile des Verkehrs) sind im urbanen Raum zu finden (MUNLV NRW 2010).

Bioklima

Die beschriebenen Besonderheiten des Stadtklimas haben überwiegend negative Auswirkungen auf die Einwohner (sowie Tiere und Pflanzen). Dabei stellen die thermischen und lufthygienischen Einflüsse die größte Belastung für den Menschen dar. Die städtische Überwärmung wirkt sich bei fehlender Abkühlung nachts nachteilig auf die Regeneration des Menschen aus und führt tagsüber, insbesondere bei höherer Luftfeuchte und starker Sonneneinstrahlung, zu einer Wärmebelastung, die auch auf die Leistungsfähigkeit des Organismus' Einfluss hat. Als Maß für die **thermische Belastung** wird häufig der PMV-Index (predicted mean vote) genutzt (Tabelle 3.2).

Dieser Index gibt die zu erwartende mittlere Beurteilung des Raumklimas an und wurde aus der Behaglichkeitsgleichung nach Fanger abgeleitet. Diese und weitere Methoden zur bioklimatischen Bewertung des Stadtklimas sind in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 zu finden (VDI 2008, WMBW 2012).

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe
-3,5	sehr kalt	extremer Kältestress
-2,5	kalt	starker Kältestress
-1,5	kühl	mäßiger Kältestress
-0,5	leicht kühl	schwacher Kältestress
0,0	behaglich	keine Kälte-/Wärmebelastung
0,5	leicht warm	schwache Wärmebelastung
1,5	warm	mäßige Wärmebelastung
2,5	heiß	starke Wärmebelastung
3,5	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Tabelle 3.2: Bewertung thermischen Stresses anhand des PMV-Indexes (predicted mean vote) (Quelle: VDI 2008)

Positive Auswirkungen

Neben negativen Auswirkungen können jedoch auch positive Effekte des städtischen Klimas beobachtet werden. Aus der urbanen Überwärmung ergibt sich im Winter ein verminderter Heizenergiebedarf

und somit **wirtschaftliche Einsparungen** und ein Beitrag zum Klimaschutz. Bei Pflanzen ergeben sich durch höhere städtische Temperaturen phänologische Effekte, vor allem eine **Ausdehnung der Vegetationsperiode** (MUNLV NRW 2010, WMBW 2012).

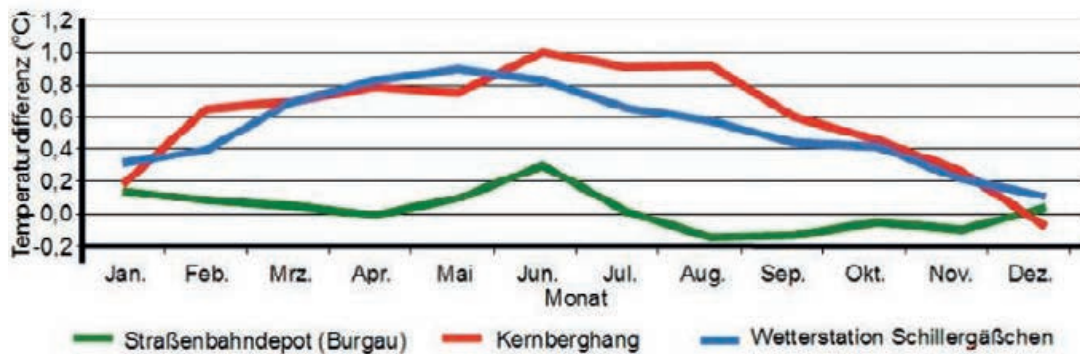


Abbildung 3.5: Temperaturdifferenz verschiedener Messstationen zur Messstation Klärwerk in Jena-Zwätzen (Quelle: Dörfer 2004)

3.2 LOKALKLIMA JENAS

Klimatische Verhältnisse Jenas

Jena liegt in der **warmgemäßigten Klimazone Mitteleuropas**. Mit durchschnittlich 587 mm Niederschlag pro Jahr (alle Angaben beziehen sich auf die Klimanormalperiode 1961-1990) zählt Jena zu den trockenen Standorten in Thüringen sowie in Deutschland. Die monatlichen Niederschlagssummen reichen von durchschnittlich 34 mm im Februar bis 75 mm im Juni. Die mittlere jährliche Lufttemperatur beträgt in Jena 9,3 °C, wobei kein Monat eine mittlere Temperatur von unter 0 °C bzw. über 20 °C aufweist. Der Januar ist mit durchschnittlich 0,4 °C der kälteste Monat, der Juli mit 18,2 °C im Monatsmittel der wärmste und mit 194,2 Sonnenstunden auch der sonnenreichste Monat. Im Dezember scheint die Sonne hingegen durchschnittlich nur 32,6 Stunden.

Bei **vorherrschender Westwindströmung** fällt in Ostthüringen weniger Niederschlag als im Luv westlich der Mittelgebirge Harz und Thüringer Wald. Das Klima in Thüringen ist kontinentaler geprägt als im Westen und Norden Deutschlands. Dies zeigt sich vor allem durch kältere Winter und trockenere Sommer als in anderen Teilen der Bundesrepublik.

Städtische Wärmeinsel

Für Jena konnte eine städtische Wärmeinsel (Kapitel 3.1) in einer zweijährigen Messung (2002-2003) der Lufttemperatur an zwei innerstädtischen Messstationen (Kernberghang, DWD-Wetterstation Schillergäßchen) und zwei Umlandstationen (Straßenbahndepot Burgau und Klärwerk als Referenzstation) nachgewiesen werden (Abbildung 3.5). Die Messstationen liegen auf einer Höhe über NN zwischen 137 m und 184 m. Ganzjährig liegen die Monatsmittel der Lufttemperatur der innerstädtischen Stationen über denen des Umlands, insbesondere im Frühjahr und Sommer ist die städtische Wärmeinsel am stärksten ausgeprägt. Auch wenn für eine genauere

Aussage längerfristige Messungen notwendig wären, können diese Messungen als Beleg für eine **städtische Wärmeinsel in Jena** angesehen werden. Dabei bestimmt in erster Linie die Häufigkeit bestimmter Großwetterlagen mit ihren lokalen Ausprägungen die Häufigkeit des Auftretens des städtischen Wärmeinseleffektes.

Die **Modellierung des DWD** mit MUKLIMO_3 im Frühjahr 2012 bestätigt mit den räumlichen Aussagen zur Häufigkeit der Überschreitung bestimmter Temperaturschwellwerte unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen ebenfalls das Vorhandensein einer städtischen Wärmeinsel in Jena (Abbildung 5.2). Insbesondere dichtbebaute innerstädtische Bereiche (Jena-Zentrum, Jena-Nord) zeichnen sich durch eine erhöhte Lufttemperatur gegenüber stärker durchgrünteren Arealen bzw. Stadtbereichen mit geringerem Versiegelungsgrad (z. B. Neulobeda, Ringwiesensiedlung) aus. Im Gegensatz zu Stadtbereichen in der Sohle des Saaletals ist in den ländlichen Hochlagen oberhalb des Saaletals mit einem deutlichen Höhenunterschied zur Talsohle kein signifikanter Wärmeinseleffekt in bebauten Gebieten zu beobachten, da die Ausdehnung der bebauten Gebiete zu gering ist und die durchschnittlich höheren Windgeschwindigkeiten dem Wärmeinseleffekt entgegenwirken. Unter zukünftig veränderten klimatischen Bedingungen wird der Wärmeinseleffekt aufgrund veränderter Wetterlagenhäufigkeit in verdichteten Stadtgebieten stärker in Erscheinung treten.

Kaltluftsituation

Im Rahmen des JenKAS-ExWoSt-Projektes unterstützte der Deutsche Wetterdienst die Stadt Jena u. a. mit **Modellrechnungen und Messungen vor Ort**. Die Kaltluftsituation wurde dabei mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 abgebildet und durch temporäre Messstationen im Stadtgebiet sowie Messfahrten validiert und ergänzt (Abbildung 3.6). Kaltluftflüsse entstehen bei autochthonen Wetterlagen, wenn die Zufuhr allochthoner (fremdbürtiger) Luftmassen schwach bis



Abbildung 3.6: Errichtung einer temporären Messstation in der Saaleaue durch den DWD (Quelle: Maercker 2011)

nicht ausgeprägt ist. **Autochthone Wetterlagen** sind wolkenarm, windschwach und durch intensive kurzweilige Einstrahlung gekennzeichnet. Sie treten im Raum Jena an etwa einem Fünftel der Tage des Jahres auf. Während dieser Wetterlagen bildet sich als Folge der Ausstrahlung vor allem über Freiflächen bodennahe Kaltluft, die entweder an Ort und Stelle verbleibt (bei Neigungen kleiner etwa 1 Grad) oder dem Gefälle folgend zu Tal fließt. Solche Hangabwinde können Teil größerer lokaler bis regionaler, thermisch induzierter Zirkulationssysteme sein (Berg- und Talwind) und spielen eine wichtige Rolle bei der Durchlüftung angrenzender Siedlungsbereiche (DWD 2012a).

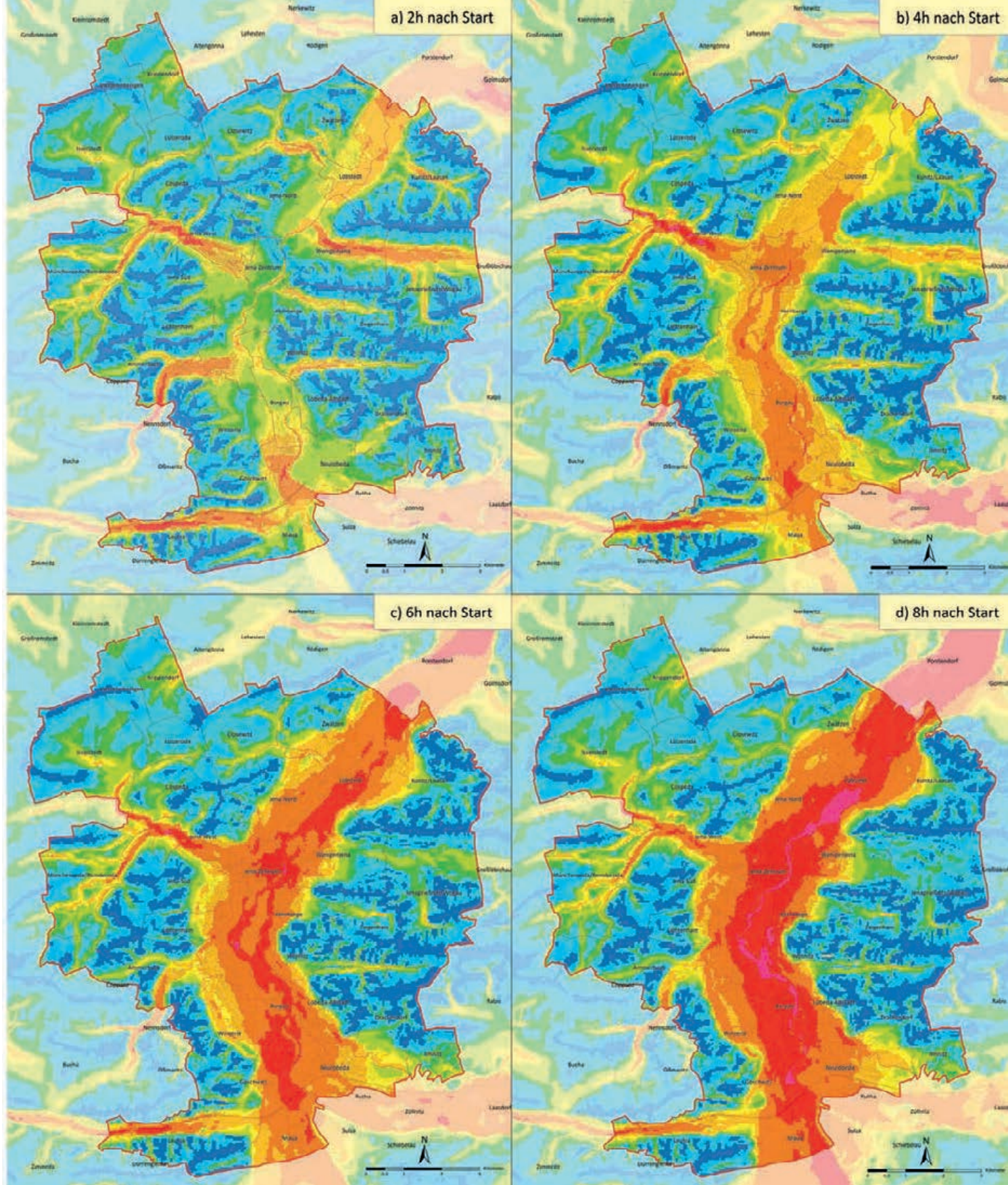
Kaltluftflüsse spielen für Jena aufgrund der Tallage der Stadt eine bedeutende Rolle. Die Belüftung der Stadt erfolgt während schwachwindiger Strahlungs Nächte aus den Seitentälern der Saale und durch eine Talabwindströmung aus südlicher Richtung im Saaletal. Die umgebenden unbewaldeten Hangbereiche, Wiesen, Auenbereiche und Wälder stellen gute und wichtige Kaltluftproduzenten dar. Innerhalb des bebauten Stadtgebietes findet dagegen kaum **Kaltluftbildung** statt. Ausnahmen sind vor allem entlang der Saale verlaufende begrünte Areale (Paradies, Oberaue) und größere innerstädtische Grünflächen (Botanischer Garten, Johannisfriedhof). Deren entlastender Einfluss auf die umgebende Bebauung ist jedoch aufgrund baulicher Riegel (z. B. Bahndamm, Friedhofsmauern) als gering einzustufen; die kalte Luft verbleibt eher vor Ort, sammelt sich und bildet kühlere Zonen aus.

Dagegen entstehen an den unbebauten und unbewaldeten Hangzonen des Saaletals und seiner Nebentälern während der Nacht mäßige bis kräftige **Kaltluftflüsse**, die bereits eine Stunde nach Sonnenuntergang zur Etablierung von Talabwinden in den Seitentälern führen. In Abbildung 3.7a ist dies für Leutra-, Roda-, Gembden-, Gleis-, Mühl- und Ammerbachtal gut zu erkennen. Die im Einzugsgebiet dieser Täler entstehende Kaltluft fließt mit gleichbleibender

Geschwindigkeit in Richtung Saaletal und füllt dieses im Laufe der Nacht zunehmend mit Kaltluft auf. Teils werden diese Kaltluftflüsse auch durch Bebauung gebremst. Die Seitentäler des Saaletales stellen wichtige **Kaltluftlieferanten** für Jena dar. So sind für den Südteil der Stadt vor allem das Leutra- und Rodatal von Bedeutung, das Ammerbach- und Mühlthal für die zentralen Bereiche westlich der Saale, das Pennicken- und das Gembdental desgleichen östlich der Saale sowie Rautal und das Tal bei Kunitz für die nördlichen Stadtbereiche. Talabriegelnde Bebauung führt in den unteren Bereichen von Mühl-, Gembden- und Ziegenhainer Tal zur Ansammlung von Kaltluftmassen bzw. **Kaltluftstau**. In den Seitentälern muss somit erst eine gewisse Kaltluftmächtigkeit erreicht sein, bevor bebaute Bereiche überströmt und die Luft den zentralen Stadtbereichen zugeführt werden kann.

Während der **ersten Nachthälfte** dominieren Kaltluftflüsse aus den Seitentälern das Geschehen. Diese kommen später teilweise (Gembden- und Pennickental) zum Erliegen, andere Seitentäler können den Zufluss fast über die ganze Nacht aufrecht erhalten (Mühl- und Leutral). Der massive Kaltluftzufluss führt im Laufe der Nacht zur Bildung einer Inversion im Saaletal, in deren Folge die Temperaturen auf den umliegenden Höhen um mehrere Grad Celsius über denen im Talgrund liegen können.

Ab der **zweiten Nachthälfte** füllt sich das Saaletal von Süden her zunehmend mit Kaltluft und es stellt sich ein stabiler Kaltluftstrom in Form eines Talabwindes ein, der im Laufe der restlichen Nacht an Mächtigkeit und Geschwindigkeit zunimmt und das Geschehen gegenüber den verbleibenden Kaltluftflüssen aus den Seitentälern dominiert (Abbildung 3.7c). Diese Luftströmung ist vergleichsweise gut entlang begrünter Areale der Saale auszumachen, wird aber aufgrund der erhöhten Rauigkeit kaum in den angrenzenden Stadtlagen spürbar. Ein weiterer Eintrag von Kaltluft in die Innenstadt wird durch stärker bebaute Bereiche abgeschwächt; erst im weiteren Verlauf der Nacht können die Hindernisse überströmt werden. Ein **Saaletalwind**



Kaltluftsituation während autochthoner Wetterlagen im Stadtgebiet Jena

Kaltluftflüsse entstehen bei autochthonen Wetterlagen, wenn die Zufuhr allochthoner (fremdbürtiger) Luftmassen schwach bis nicht ausgeprägt ist. Autochthone Wetterlagen sind wolkenarm, windschwach und durch intensive kurzweilige Einstrahlung gekennzeichnet. Sie treten im Raum Jena an etwa einem Fünftel der Tage des Jahres auf. Während dieser Wetterlagen bildet sich als Folge der Ausstrahlung vor allem über Freiflächen bodennahe Kaltluft, die entweder an Ort und Stelle verbleibt (bei Neigungen etwa kleiner 1 Grad) oder dem Gefälle folgend zu Tal fließt. Solche Hangabwinde können Teil größerer lokaler bis regionaler, thermisch induzierter Zirkulationssysteme sein (Berg- und Talwind) und spielen eine wichtige Rolle bei der Durchlüftung angrenzender Siedlungsbereiche. Im Stadtgebiet Jena treten in der ersten Nachthälfte vor allem, von Hangwinden gespeiste, kräftigere Talabwinde aus den Seitentälern in Erscheinung, die zur Nachmitte hin abschwächen oder gar versiegen. Die zweite Nachthälfte wird durch einen großvolumigen Kaltluftstrom bestimmt, der das Saaletal von Süden nach Norden durchfließt, aber erst über Dachniveau der Bebauung eine nennenswerte Fließgeschwindigkeit erreicht. Vorliegende Karten basieren auf Modellimulationen mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes, die im Zuge der Kooperation im JenIAS-Projekt durchgeführt wurden und zeigen die Kaltluftsituation für verschiedene Zeitscheiben (2, 4, 6 bzw. 8 Stunden nach Simulationsbeginn bzw. Sonnenuntergang).

Daten: Deutscher Wetterdienst (2022), Stadt Jena (2005, 2010, 2011). Erstellt im Mai 2022 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (Think) Jena im Rahmen des ExWoSt Forschungsprojektes 'Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potentiale' des Bundesministeriums für Bau-, Stadt- und Raumordnung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vervielfältigungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.



Kaltluftvolumenstrom

$m^3/(m^2s)$

- 0 bis 1
- über 1 bis 2
- über 2 bis 5
- über 5 bis 10
- über 10 bis 20
- über 20 bis 30
- über 30 bis 50
- über 50 bis 100
- über 100 bis 200
- über 200

Abbildung 3.7a-d: Kaltluftsituation während autochthoner Wetterlagen im Stadtgebiet Jena

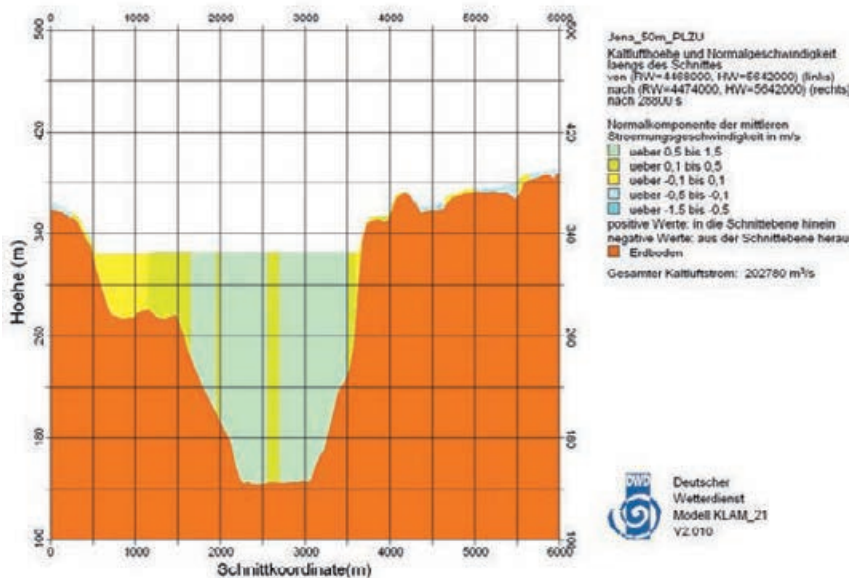


Abbildung 3.8: Schnitt durch das mit Kaltluft gefüllte Saaletal acht Stunden nach Simulationsbeginn auf der Linie Ammerbacher Platte – Steinkreuz/Kernberge (DWD 2012a)

kann sich somit räumlich erst ab dem Dachniveau stärker ausbilden. Zum Ende einer schwachwindigen Strahlungsnacht existiert ein deutlich Süd-Nord gerichteter Talabwind (Abbildung 3.7d). Die Strömungen in den Seitentälern sind inzwischen teilweise oder fast vollständig zum Erliegen gekommen. Die Bereiche der Stadtgebietes bis etwa 310 m ü.N.N. sind zu diesem Zeitpunkt gut mit Kaltluft gefüllt (Abbildung 3.8). Im Saaletal werden aufgrund der großen Oberflächenrauigkeit (Bebauung) nur bodennahe Fließgeschwindigkeiten von 0,5 bis 1,0 m/s erreicht, ab bzw. über Dachniveau in Höhen von 30 bis 60 m treten jedoch Geschwindigkeiten von 1,0 bis 2,5 m/s auf. Das Saaletal ist als vergleichsweise windschwaches Gebiet einzuschätzen, das orographie- und topographiebedingt eher schwach bzw. schlecht belüftet wird. Die Seitentäler dagegen stellen für die Stadt **wichtige Kaltluftschneisen** dar; dabei handelt es sich jedoch oftmals aufgrund bodennaher Emissionsquellen (Straßen) um Kalt- statt Frischluft, die in das Stadtgebiet transportiert wird (DWD 2012a).

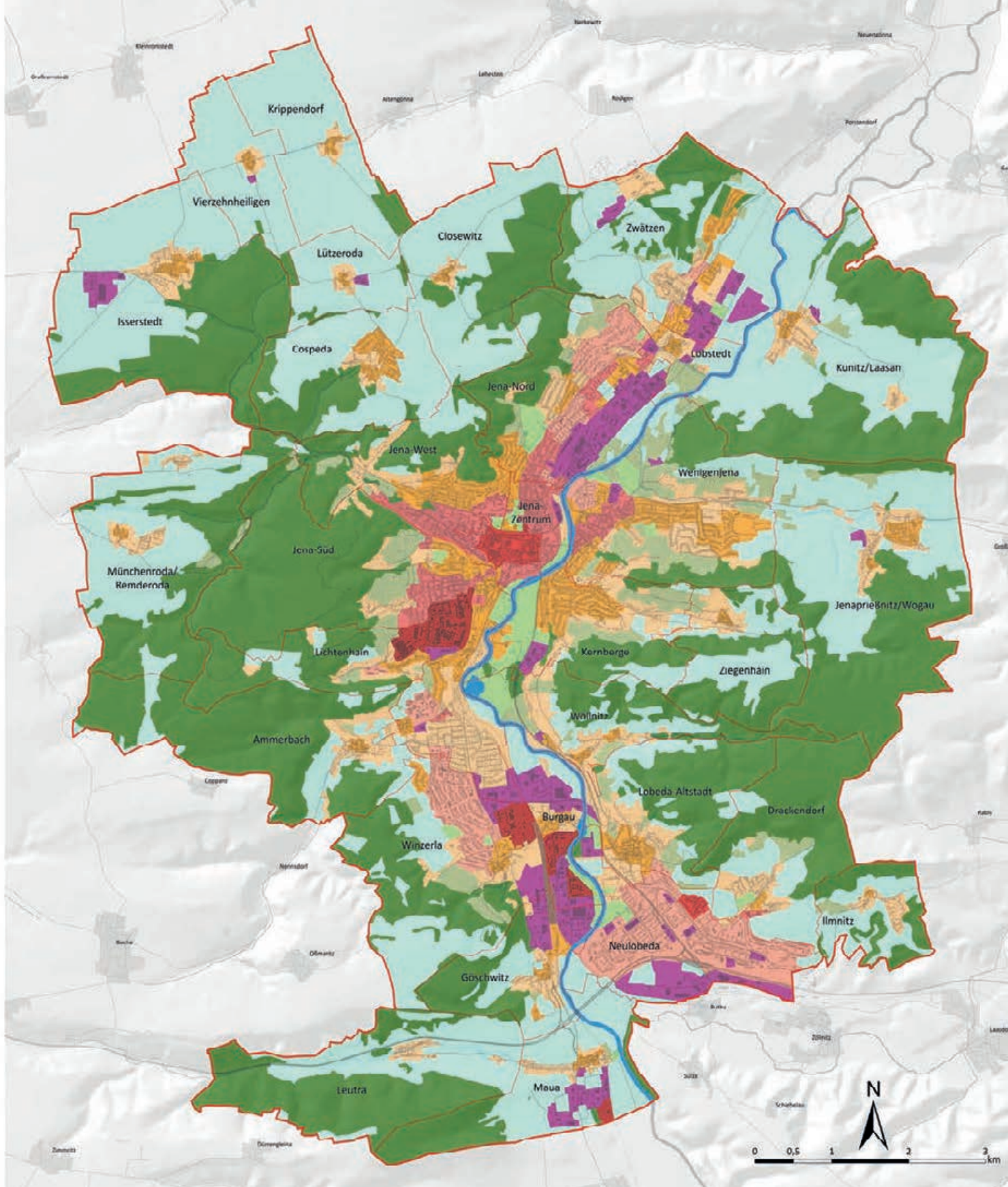
Klimatope

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen sind. In erster Linie wirken hier Flächennutzung, Oberflächenstruktur und Relief als Faktoren während austauscharmer Strahlungswetterlagen auf das **Mikroklima eines Standortes** ein. Als zusätzliches Kriterium spezieller Klimatope wird das Emissionsaufkommen herangezogen. Da in besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen vor allem durch die reale Flächennutzung und insbesondere durch die Art der Bebauung bestimmt werden, sind die Klimatope nach den dominanten Flächennutzungsarten bzw. baulichen Nutzungen benannt (WMBW 2012, VDI 1997).

Die **Ausweisung der Klimatope** orientiert sich an der VDI-Richtlinie 3787/1. Für Jena wurde die Klassifikation um zwei Klimatoptypen erweitert, da sie im Siedlungsbereich mit größeren Flächenanteilen

vertreten sind: das Großsiedlungs-Klimatop und das Kleingarten-Klimatop. Abbildung 3.9 zeigt die im Rahmen des Projektes erstellte Klimatopkarte. Sie wurde im wesentlichen durch die Interpretation von Orthophotos (2008) und unter Einbeziehung von Flächennutzungsplan (2005), Raumtypenkartierung (2010), TK10 (2010), Geländemodell (1995) und Offenland-Biotopkartierung (2005-2011) erstellt. Zusätzlich wurden die Flächenabgrenzungen durch Zuarbeit der Stadt auf den aktuellen Stand (2011) gebracht. Die Grenzen zwischen den Klimatopen sind idealisiert; in der Realität ergeben sich Übergangsbereiche. Für flächenscharfe Aussagen sind fachliche Detailgutachten notwendig.

In Tabelle 3.3 ist eine **Kurzbeschreibung der Klimatope** und ihrer klimatischen Eigenschaften zu finden. Dabei wurde in Anlehnung an Kuttler, Dütemeyer & Barlag (2001) für jedes Klimatop der klimatisch-lufthygienische Status aufgezeigt. **Lasträume** stellen stark belastete Bereiche dar, die aufgrund stark verdichteter Bebauung, hohem Verkehrsaufkommen und eingeschränkten Luftaustauschverhältnissen thermisch und lufthygienisch benachteiligt sind. **Ungunsträume** sind in der gleichen Art mäßig belastete Bereiche. Im Gegensatz dazu stellen **Ausgleichsräume** mikroklimatisch mäßig bis nicht anthropogen beeinflusste Räume dar, die negative klimatische Wirkungen belasteter Stadtbereiche über Fernwirkung (Austausch) ausgleichen bzw. verringern können. Als **Gunstraum** werden Stadtbereiche bezeichnet, die wenig bis nicht belastet sind und ähnlich positive Eigenschaften wie Ausgleichsräume aufweisen, jedoch mit überwiegender Innenwirkung, d. h. ohne bedeutende Fernwirkung. Im **Stadtgebiet Jena** finden sich große Flächenanteile (70-80%), die als Ausgleichsraum zu betrachten sind (Wald, Freiland) und über die Produktion von Kaltluft und deren Transport in Richtung auf Last- und Ungunsträume eine wichtige Funktion für das städtische Klima ausüben. Die Anteile von Gunsträumen und Ungunsträumen liegen in einer vergleichbaren Größenordnung (10-15%), während Lasträume nur unter 10 % der Fläche Jenas ausmachen.



Klimatope im Stadtgebiet Jena

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen und die Auswirkungen wenig unterschiedlich sind. In erster Linie wirken hier Flächennutzung, Oberflächenstruktur und Relief als Faktoren während austauschbarer Strahlungswetterlagen auf das Mikroklima eines Standortes ein. Als zusätzliches Kriterium spezieller Klimatope wird das Emissionsaufkommen herangezogen. Da in besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen vor allem durch die reale Flächennutzung und insbesondere durch die Art der Bebauung bestimmt werden, sind die Klimatope nach den dominanteren Flächennutzungsarten bzw. baulichen Nutzungen benannt. Die Ausweisung der Klimatope orientiert sich im wesentlichen an der VDI Richtlinie 3787/1, erweitert um die Klimatope Großsiedlung und Kleingarten. Die Grenzen zwischen den Klimatopen sind idealisiert; in der Realität erleben sich Übergangsbereiche. Für genauere Aussagen bedarf es eines Detailgutachtens.



- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(1) Freiland-Klimatop
ungestörter, stark ausgeglichener Tages- und Jahresgang von Lufttemperatur und Feuchte, windstill, starke kühl- bzw. Fruchtluftproduktion</p> <p>(2) Wald-Klimatop
stark gedämpfter Tagesgang von Lufttemperatur und Feuchte, thermisch ausgeglichen auf die Umgebung; hohe Fruchtluftproduktion, Filterfunktion, Erholungsraum</p> <p>(3) Gewässer-Klimatop
schwacher Jahres- und Tagesgang von Lufttemperatur und Feuchte, thermisch ausgeglichen auf die Umgebung; hohe Feuchtigkeit, evtl. Luftkühlung</p> <p>(4) Grünanlagen-Klimatop
ausgeglichener Tagesgang von Lufttemperatur und Feuchte, klimatische Ausgleichsfläche in überdunkler Stadtumgebung, evtl. Luftbänne, kaltspritzproduktion</p> | <p>(5) Kleingarten-Klimatop
merklicher Tagesgang von Lufttemperatur und Feuchte, meist klimatisch ausgleichend in überdunkler Stadtumgebung, kalte Luftproduktion</p> <p>(6) Gartenstadt-Klimatop
alle Klimaelemente gegenüber Freiland-Klimatop nur leicht modifiziert, merkliche nächtliche Abkühlung, nur unwesentliche Beeinträchtigung von Winden</p> <p>(7) Stadtrand-Klimatop
stark abgegrenztes, im wesentlichen von der Umgebung abgehängtes nächtliche Abkühlung, Behinderung lokaler Winde bzw. Kaltluftbänne</p> <p>(8) Großsiedlung-Klimatop
geringste Überwärmung, Luftaustausch mäßig bis gering, meist Windföhleffekten, Behinderung lokaler Kaltluftbänne möglich, mäßige Luftschadstoffbelastung</p> | <p>(9) Stadt-Klimatop
starke Veränderung aller Klimaelemente gegenüber dem Freiland, Ausbildung einer Windminde, geringe nächtliche Abkühlung, Luftschadstoffbelastung</p> <p>(10) Stadtdiehl-Klimatop
täglich starke Aufheizung, intensiver wärmestopereffekt, geringer Feuchte, starke Windföhleffekte, problematischer Luftaustausch, Luftschadstoffbelastung</p> <p>(11) Gewerbe-Klimatop
starke Veränderung aller Klimaelemente, Ausprägung eines wärmestopereffektes, geringe Luftfeuchtigkeit, teilweise Luftschadstoffbelastung</p> <p>(17) Industrie-Klimatop
intensiver wärmestopereffekt, geringe Luftfeuchtigkeit, z.T. starke Windföhleffekte, problematischer Luftaustausch, teilweise hohe Luftschadstoffbelastung</p> | <p>(13) Bahnanlagen-Klimatop
erhöhter Lufttemperaturertrag, geringe Luftfeuchtigkeit, windstill, evtl. Luftkühlung</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Daten: DWD (2008), DWD (2005), Bundesbauabteilung (2005), VDI (2005), DGM (1995), Offenland-Biotopkartierung (2007-2011) (Stadtverwaltung Jena), erstellt im Mai 2011 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (THINK) Jena im Rahmen des EXWoSt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesministeriums für Raum, Stadt- und Bauentwicklung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Verantwortlicher: Prof. Dr. Ingrid Isenhardt, Vertretung durch die Stadt Jena.

Abbildung 3.9: Klimatope im Stadtgebiet Jena

Klimatotyp	Klimatische Charakteristika	Status	Fläche [ha]	Anteil am Stadtgebiet [%]
Freiland	ungestörter, stark ausgeprägter Tages- und Jahresgang von Lufttemperatur und -feuchte, windoffen, starke Kalt- bzw. Frischluftproduktion	Ausgleichsraum	4.023	35
Wald	stark gedämpfter Tagesgang von Lufttemperatur und -feuchte, Kalt- bzw. Frischluftproduktion, Filterfunktion, Erholungsraum	Ausgleichsraum	4.174	36
Gewässer	schwacher Jahres- und Tagesgang von Lufttemperatur und -feuchte, thermisch ausgleichend auf die Umgebung, hohe Feuchtigkeit, evtl. Luftleitbahn	Ausgleichsraum	107	1
Grünanlagen	ausgeprägter Tagesgang von Lufttemperatur und -feuchte, klimatische Ausgleichsfläche in überwärmter Stadtumgebung, evtl. Luftleitbahn, Kaltluftproduktion	Gunstraum	144	1
Kleingarten	merklicher Tagesgang von Lufttemperatur und -feuchte, meist klimatisch ausgleichend in überwärmter Stadtumgebung, Kaltluftproduktion	Gunstraum	427	4
Gartenstadt	alle Klimatelemente gegenüber Freiland-Klimatop nur leicht modifiziert, merkliche nächtliche Abkühlung, nur unwesentliche Bremsung von Winden	Gunstraum	912	8
Stadtrand	stark eingeschränkte, im wesentlichen von der Umgebung abhängige nächtliche Abkühlung, Behinderung lokaler Winde bzw. Kaltluftströme	Gunstraum, bei stärkerer Verdichtung: Ungunstraum	532	5
Großsiedlung	gelegentliche Überwärmung, Luftaustausch mäßig bis günstig, meist Windfeldstörungen, Behinderung lokaler Kaltluftströme möglich, mäßige Luftschadstoffbelastung	Ungunstraum	392	3
Stadt	starke Veränderung aller Klimatelemente gegenüber dem Freiland, Ausbildung einer Wärmeinsel, geringe nächtliche Abkühlung, Luftschadstoffbelastung	Ungunstraum	225	2
Stadtkern	tagsüber starke Aufheizung, intensiver Wärmeinseleffekt, geringe Feuchte, starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, Luftschadstoffbelastung	Lastraum	42	<1
Gewerbe	starke Veränderung aller Klimatelemente, Ausbildung eines Wärmeinseleffektes, geringe Luftfeuchtigkeit, teilweise Luftschadstoffbelastung	Lastraum, bei emissionsfreier Nutzung: Ungunstraum	386	3
Industrie	intensiver Wärmeinseleffekt, geringe Luftfeuchtigkeit, z.T. starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, teilweise hohe Luftschadstoffbelastung	Lastraum, bei emissionsfreier Nutzung: Ungunstraum	101	1
Bahnanlage	extremer Lufttemperaturtagesgang, geringe Luftfeuchtigkeit, windoffen, evtl. Luftleitbahn	Ungunstraum	11	<1

Tabelle 3.3: Klimatotypen im Stadtgebiet Jena und ihre klimatischen Charakteristika



Gute Kaltluftproduzenten: die Felder und Wälder in und um Jena (Quelle: Griebisch 2012).

Klimafunktionen

Die flächenhafte Übersicht lokalklimatischer und teilweise auch luft-hygienischer Gegebenheiten erfolgt in der Regel in **Klimafunktions- bzw. Klimaanalysekarten**. Sie liefern erste Hinweise auf planungsrelevante Sachverhalte und zählen zum Instrumentarium klassischer Stadtklimatologie. Aufgrund der starken Verzahnung des „normalen Stadtklimas“ mit den Auswirkungen des projizierten Klimawandels wurde eine Klimafunktionskarte auch für das Stadtgebiet Jena erstellt (Abbildung 3.10), die hier kurz erläutert wird.

Die Klimafunktionskarte setzt sich aus verschiedenen **thematischen Bereichen** zusammen. Die **Klimatope** des Stadtgebietes bilden eine erste unterliegende Ebene und wurden im vorangehenden Abschnitt näher erläutert. Einen weiteren Bereich stellt das Thema **Kaltluft** und damit verbunden der **Luftaustausch** dar. Bedingt durch die Tal-lage der Stadt ist ein gut funktionierender Luftaustausch vor allem während austauscharmer, autochthoner Wetterlagen von Bedeutung. In der Karte dargestellt sind Kaltluftentstehungsflächen, klassifiziert nach ihrer Produktivität und Qualität:

- *sehr stark (Freiland),*
- *stark (Parkflächen, Kleingärten),*
- *mittel (Wald).*

Kaltluftstaugefährdete Bereiche, als Ergebnis einer Reliefanalyse, sind Flächen, auf denen die Kaltluft aufgrund einer Änderung der Oberflächenrauigkeit langsamer (oder gar nicht) abtransportiert wird. Dies ist der Fall an Wald- oder Siedlungsrändern und in abflusslosen Geländedepressionen. Je nach Hindernisart (undurchlässig, z. B. Bahndamm oder halbdurchlässig, z. B. Siedlungs- oder Waldrand) verbleibt die Kaltluft am Ort oder über- bzw. durchfließt das Hindernis.

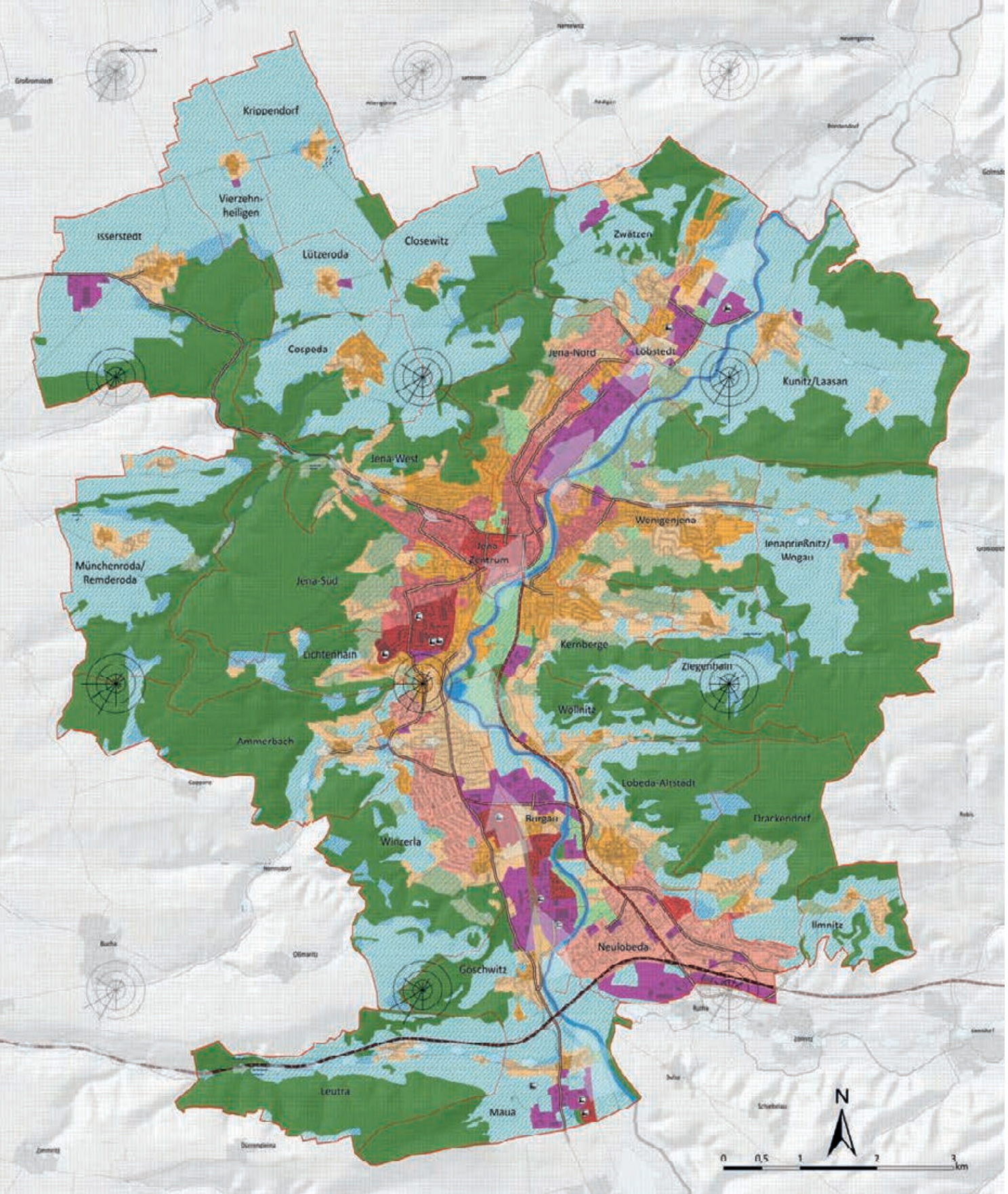
Flächendeckend wurden für das Stadtgebiet die nächtlichen, flächenhaften **Kaltluftflüsse** dargestellt. Dazu wurden aus der KLAM_21-Modellierung des DWD mittlere Fließgeschwindigkeiten abgeleitet und klassifiziert. Die flächenhaft abfließende Kaltluft ist als Hang-

abwind Teil des thermisch induzierten Zirkulationssystems, das sich in den Talachsen als Berg-/Talwind ausbildet. Letzteres ist mittels größerer Pfeile in der Karte abgebildet, deren Größe mit der Summe des nächtlichen Kaltluftvolumenstromes im jeweiligen Tal korreliert (Abbildung 3.7).

Ferner im Thema Luftaustausch integriert finden sich Windrosen, die die **Richtungshäufigkeiten der übergeordneten Winde** in 10 m Höhe darstellen. Diese von der TLUG zur Verfügung gestellten Daten entstammen einer Regionalwindsimulation für das Land Thüringen aus dem Jahr 2000. Aufgrund der Auflösung von 4 km sind lokale Strömungen, wie Kaltluftflüsse in den Seitentälern, nicht erfasst. Dies ist für Windrosenpunkte auf den Hochflächen um Jena (Ziegenhain, Cospeda) unproblematisch, bei Tallagen (Neulobeda, Kunitz/Laasan) jedoch zu berücksichtigen.

Weiterhin geben Informationen zu Verkehrsstärken (aus dem Verkehrsentwicklungsplan 2002, aktualisiert 2011) und Emittenten aus Industrie und Gewerbe (Stand 2011) Hinweise auf die **lufthygienische Belastung** im Stadtgebiet.

Die Karte orientiert sich an den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787/1, kann jedoch aufgrund der Datenlage nicht alle in der Richtlinie aufgeführten Inhalte umsetzen. Es ist zudem zu beachten, dass die vierdimensionale klimatologische Realität nur vereinfacht in einer Karte dargestellt werden kann. Dies gilt insbesondere für die zeitlich sehr variable Kaltluftdynamik. Für räumlich höher aufgelöste Aussagen (z. B. auf Gebäudeebene) empfiehlt sich ein **mikroklimatisches Gutachten** wie es für das B-Plangebiet Eichplatz mittels ENVI-met erstellt wurde.



Klimafunktionskarte Jena

Die Klimafunktionskarte für Jena stellt die lokalklimatischen und teilweise auch lufthygienischen Gegebenheiten im Stadtgebiet als flächenhafte Übersicht dar. Sie setzt sich aus verschiedenen thematischen Bereichen zusammen. Die Klimatopie des Stadtgebietes bilden eine erste Grundlage und sind in der Klimatopie näher erläutert. Einen weiteren Bereich stellt die kaltauftauschsituation und damit verbunden der Luftaustausch dar. Bedingt durch die Topografie der Stadt ist ein gut funktionierender Luftaustausch vor allem während autochthoner Wetterlagen von Bedeutung. Als Letztes geben Informationen zu Verkehrsstärken und Emittenten aus Industrie und Gewerbe Hinweise auf die lufthygienische Belastung im Stadtgebiet. Die Karte orientiert sich an den Vorgaben der VDI Richtlinie 3787/1. Es ist zu beachten, dass die vierdimensionale klimatologische Realität nur vereinfacht in dieser Karte dargestellt werden kann. Dies gilt insbesondere für die zeitlich sehr variable Kaltauftauschdynamik, so dass für die nächtlichen Kaltauftauschmittel angegeben wurden. Für genauere Aussagen bedarf es eines Detailgutachtens.

Daten: Stadt Jena (1995, 2005, 2008, 2010, 2011), Deutscher Wetterdienst (2011), Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie (2005). Erstellt im Mai 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (TINUS) Jena im Rahmen des EU-Projekt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Veröffentlichung jeder Art bedarf der Zustimmung durch die Stadt Jena.

Klimatopie

- | | |
|----------------------|------------------------|
| Freiland-Klimatop | Großsiedlungs-Klimatop |
| Wald-Klimatop | Stadt-Klimatop |
| Gewässer-Klimatop | Stadtkern-Klimatop |
| Grünanlagen-Klimatop | Gewerbe-Klimatop |
| Kleingarten-Klimatop | Industrie-Klimatop |
| Gartenstadt-Klimatop | Bahnanlagen-Klimatop |
| Stadtrand-Klimatop | |

Emissionen

- | |
|---------------------------|
| Verkehrsstärken (Kfz/Tag) |
| bis 10.000 |
| 10.001 bis 20.000 |
| 20.001 bis 30.000 |
| 30.001 bis 40.000 |
| über 40.000 |
| Industrie und Gewerbe |

Luftaustausch / Kaltauftausch

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------|
| Kaltauftauschgefährdete Bereiche |
| Kaltauftausch |
| mittel |
| stark |
| sehr stark |
| Berg-/Talwindssysteme mit großen Kaltauftauschströmen |
| Nächtliche flächenhafte Kaltauftauschmittel (Geschwindigkeitsmittel in m/s) |
| gering (bis 0,5) |
| mittel (über 0,5 bis 1,0) |
| stark (über 1,0 bis 1,5) |
| sehr stark (über 1,5) |
| Richtungshäufigkeiten der übergeordneten Winde in 10 m Höhe |



Abbildung 3.10: Klimafunktionskarte für das Stadtgebiet Jena

KLIMAWANDEL

4.

Der anthropogen verursachte Klimawandel ist keine Prognose, er findet bereits statt. Weltweite Temperaturmessungen zeigen seit etwa 50 Jahren eine merkliche Erhöhung der Lufttemperatur, verursacht von einer deutlichen Zunahme von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre. Weiterhin steigt der globale Ausstoß an Treibhausgasen mit heute schon massiven klimatischen Veränderungen wie der Häufung von Dürren, Hitzeperioden und Überschwemmungen. Globale Klimamodelle zeigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine weltweit deutliche Zunahme der Temperaturen und eine Veränderung der Niederschlagsverteilung. Regionale Klimamodelle wie STAR und Wett-Reg projizieren für die Stadt Jena (anhand der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen) eine signifikante Temperaturerhöhung bis zum Jahr 2050.

4.1 HINTERGRUND UND GLOBALE KLIMATISCHE VERÄNDERUNGEN

Seit etwa 50 Jahren wird eine deutliche **Erhöhung der Temperatur** der bodennahen Luftschicht beobachtet, welche sich hauptsächlich durch den anthropogen bedingten Anstieg der Konzentration klimarelevanter Treibhausgase (Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und Fluorkohlenwasserstoffe) erklären lässt. Dabei ist die Temperaturzunahme in den letzten 50 Jahren in etwa doppelt so hoch wie in den 50 Jahren davor (Abbildung 4.1). Das Jahrzehnt 2001-2010 war das mit Abstand wärmste je gemessene. Gleichzeitig waren signifikante regionale Niederschlagsveränderungen zu beobachten. Der Trend zu einer deutlichen globalen Erwärmung ist ungebrochen und wird laut IPCC (2007a) bis zum Jahr 2100 zu einem weiteren globalen Temperaturanstieg von 2 °C – 4 °C führen.

Analysen von Eisbohrkernen aus Grönland und der Antarktis geben Rückschlüsse auf den CO₂-Gehalt der letzten Jahrtausende, welcher relativ konstant bei 275 ppm (parts per million) lag. Im Frühjahr 2012 wurden erstmals an einzelnen Stationen in der Arktis 400 ppm CO₂ in der Atmosphäre gemessen. Dies verdeutlicht das bisherige Scheitern

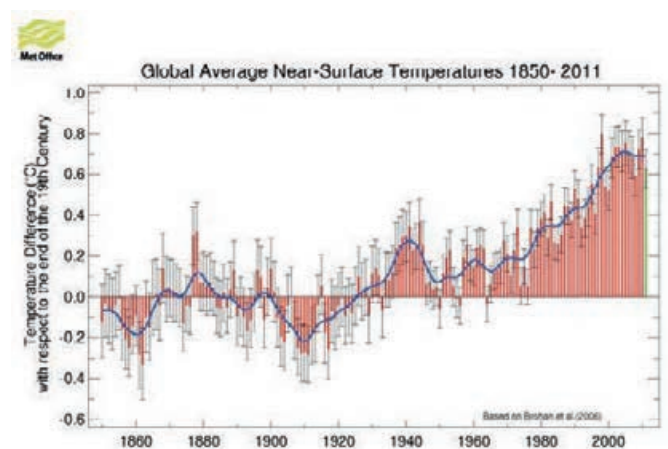


Abbildung 4.1: Mittlere globale Lufttemperatur in Bodennähe 1850-2011 (Quelle: Met Office 2012)

der globalen Klimaschutzbemühungen um eine deutliche Senkung der anthropogenen CO₂-Emissionen. Als dramatisch für das zukünftige Klima kann der wachstumsgetriebene, weiterhin jährliche **Anstieg der globalen CO₂-Emissionen** gesehen werden (Abbildung 4.2). Eine signifikante Reduzierung der anthropogenen Treibhausgasemissionen würde den Klimawandel zwar nicht aufhalten, jedoch die globale Erwärmung abschwächen. Die Trägheit des globalen Klimasystems führt zu sehr verzögerten Auswirkungen. Die globale Erwärmung lässt sich nicht mehr aufhalten, es geht nur noch darum den Temperaturanstieg zu begrenzen.

Größere Landmassen auf der Nordhalbkugel bieten ein hohes Potenzial zur Erwärmung, die Ozeane hingegen erwärmen sich nur verzögert und dämpfen derzeit noch die globale Erwärmung. So kommt es zu einer verzögerten Auswirkung der gegenwärtigen anthropogenen Treibhausgasemissionen um Jahrzehnte. **Rückkopplungseffekte** wie verstärkte Verdunstung durch erhöhte Temperaturen tragen massiv zur globalen Erwärmung bei. Der strahlungsabsorbierende Wasserdampf in der Erd-

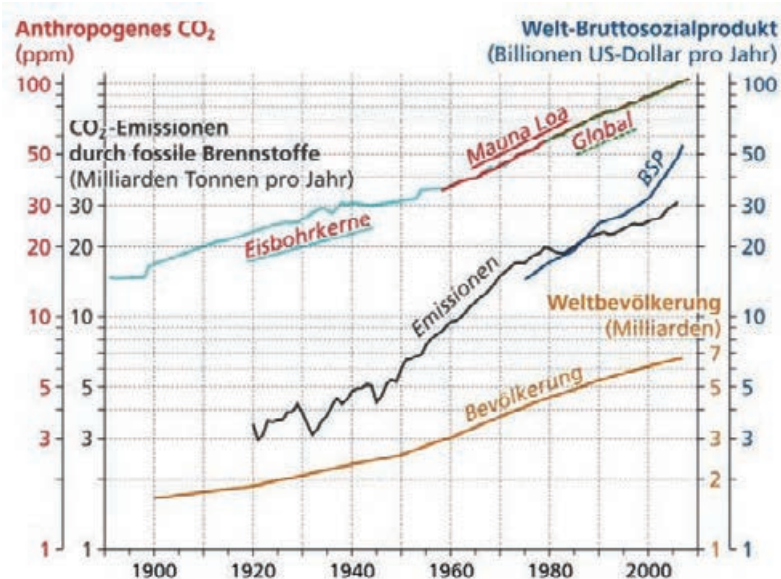


Abbildung 4.2: Entwicklung des atmosphärischen anthropogenen CO₂-Mischungsverhältnisses, der globalen CO₂-Emissionen, des weltweiten Bruttosozialprodukts sowie der Weltbevölkerung (logarithmische Darstellung) (Quelle: Kuttler 2011a)

atmosphäre trägt zu zwei Drittel des natürlichen Treibhauseffektes bei. Nur schwer abschätzen lässt sich die Verstärkung des Treibhauseffektes durch freigesetzten Methan auftauender Permafrostböden. Erwartet wird ein massives Auftauen von jahrtausendealten Permafrostböden, deren enormer Kohlenstoffspeicher bisher klimatisch inaktiv war und als Kohlenstoffsene fungierte. Der bereits eingetretene massive Rückgang des arktischen Meereises im Sommer verringert großräumig die Albedo und ermöglicht somit eine verstärkte Erwärmung der arktischen Gewässer. Diese durch den anthropogen Klimawandel hervorgerufenen Effekte werden sich weiter verstärken und z. B. für eine, laut Modellrechnungen, spätestens in 50 Jahren im Sommer eisfreie Arktis sorgen. Das Jahrzehnt 2000-2009 war global das mit Abstand wärmste seit Beginn der Aufzeichnung meteorologischer Daten (SMUL 2011). Aktuelle Klimamodelle projizieren einen **dramatischen Temperaturanstieg** bis zum Ende des Jahrhunderts, wobei Mitteleuropa nicht zu den am stärksten betroffenen Regionen gehören wird. Vergleicht man den bisherigen Temperaturanstieg von ca. 0,1 Kelvin/Jahrzehnt in den letzten 100 Jahren mit dem zukünftig projizierten beschleunigten Temperaturanstieg von 0,2 bis 0,4 Kelvin/Jahrzehnt, dann sind vor dem Hintergrund der heute bereits eingetretenen Häufigkeitsänderung von klimatischen Ausprägungen (Hitze- und Trockenperioden, Überschwemmungen) weitere dramatische Veränderungen in der Häufigkeit solcher Ereignisse wahrscheinlich. Mit den heutigen Treibhausgasemissionen wird das zukünftige Potenzial für „Klimakatastrophen“ deutlich verstärkt. Dieses zeigt wiederum das Dilemma um die Wirksamkeit des heutigen Klimaschutzes, welcher durch die Trägheit des Klimasystems erst in Zukunft zum Tragen kommen wird.

Laut IPCC (2007a) wird von einem massiven **Anstieg des Meeresspiegels** ausgegangen. Allein die erwärmungsbedingte Volumenvergrößerung der Wassermassen sorgt für einen Anstieg des Meeresspiegels von ca. einem Meter in den nächsten 100 Jahren. Darüber hinaus werden durch Abschmelzen der polaren Eismassen Küstengebiete in Regionen bedroht, deren Beiträge zum anthropogen verursachten Klimawandel

bisher eher gering waren. Insbesondere Entwicklungsländer verfügen nur über unzureichende finanzielle Ressourcen und Wissen um sich an veränderte klimatische Bedingungen anpassen zu können. Schon heute zeigt sich die hohe Betroffenheit durch Überschwemmungen und Dürren. Die Vulnerabilität gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wird in Entwicklungsländern, insbesondere in Afrika, weit dramatischer ausfallen als dies z. B. in Mitteleuropa der Fall sein wird.

Die Projektionen der zukünftigen globalen klimatischen Entwicklung ist mit **Unsicherheiten** behaftet und Gegenstand intensiver internationaler Forschung. Unbekannte Parameter wie die Bevölkerungsentwicklung, das globale Wirtschaftswachstum und der Erfolg von Klimaschutzbemühungen lassen sich nur schwer vorhersagen.

Zur Zeit lässt sich das **globale Wirtschaftswachstum** nicht von einer Erhöhung der CO₂-Emissionen abkoppeln, die Entwicklungen in China und Indien sind dafür beispielhaft. Erst wenn es gelingt, insbesondere durch mehr Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien, die wirtschaftliche Entwicklung von den CO₂-Emissionen zu trennen, kann der Klimaschutz einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der globalen Erwärmung beitragen. Die **Energiewende** in Deutschland könnte dafür eine globale Vorreiterrolle einnehmen und anderen Nationen zeigen, wie der Umbau der Energieversorgung einer großen Industrienation funktionieren kann. Versuche, CO₂ unterirdisch zu speichern oder andere technische Maßnahmen zur Reduzierung des CO₂ in der Atmosphäre können jedoch keine Begründung sein, die globalen Klimaschutzbemühungen zu verringern.

Als sicher gilt der Trend zur weiteren globalen Erwärmung; Unsicherheit herrscht nur über das Ausmaß der Temperaturerhöhung. Darin liegt auch die Notwendigkeit der intensiven Auseinandersetzung mit der Anpassung an den Klimawandel, denn auch noch so intensive Klimaschutzbemühungen können eine Anpassung an den Klimawandel nicht ersetzen. Gleichzeitig kann jedoch auch **Klimaanpassung nicht ohne Klimaschutz** erfolgreich sein; beide Aufgaben sind unlösbar miteinander verbunden.

4.2 LOKALE KLIMATISCHE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

Gemessene CO₂-Konzentration in Jena

Der **urban geprägte Standort Jena** zeigt eine hohe und stark variierende CO₂-Konzentration. Ursache dafür ist die unmittelbare Nähe zu CO₂-Emittenten wie Straßenverkehr und Industrie. Zusätzlich dazu ist die Lage im Saaletal förderlich für austauscharme Inversionswetterlagen und Nebelbildung. Die CO₂-Konzentration im Saaletal ist dadurch stark anthropogen beeinflusst und auch maßgeblich vom Wettergeschehen abhängig. Daher sollten hinsichtlich des Klimawandels die erhöhten Messwerte für die urban geprägte Region Jena nicht fehlinterpretiert werden. Auffällig ist dabei am Standort Jena das Auftreten des Hauptmaximums um den Monat Dezember. Aufgrund kalter Witterung in dieser Jahreszeit wird u. a. mehr geheizt und folglich lokal auch mehr CO₂ freigesetzt. Das zeitlich nachfolgende sekundäre Maximum um den Monat April ist erneut auf den natürlichen Jahresgang zurückzuführen. Das Jahresmittel der CO₂-Konzentration für Jena betrug 404 ppm für 2010. Ein Trend der Zunahme ist für Jena aufgrund der recht kurzen Zeitreihe statistisch nicht signifikant nachweisbar, offenbart aber bei Betrachtung der Jahresmittelwerte (2009: 400ppm, 2010: 404ppm, 2011: 406ppm) eine ansteigende Tendenz. Weniger urban geprägte Standorte wie Jena weisen im Durchschnitt niedrigere CO₂-Konzentration auf (TKA 2012).

Gemessene und projizierte klimatische Veränderungen an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

Das städtische Klima von Jena ist geprägt durch überregional wirkende Großwetterlagen und regional sowie lokal wirkende Faktoren wie Topographie und Landnutzung. Die **Großwetterlagen** bestimmen das Klima vor allem bei Tiefdruckverhältnissen, wenn umfangreiche großräumige Luftmassenbewegungen stattfinden. Dadurch treten die speziellen Effekte des Stadtklimas von Jena in den Hintergrund und die Stadt weist sehr ähnliche Witterungsverhältnisse auf wie das Umland. Die regional und lokal modifizierenden Effekte (Kapitel 3.1) wirken sich ganzjährig primär bei **Hochdruckwetterlagen** aus. Wenn geringe großräumige Windbewegungen vorliegen, beeinflussen regionale und lokale Effekte das lokale Klima deutlich stärker. Während die Topographie und die großräumige Landnutzung als klimatisch modifizierende Faktoren als weitgehend konstant angesehen werden können, besteht der Einfluss des Klimawandels in der Änderung der Häufigkeit bestimmter Großwetterlagen. Analysen zur Häufigkeit von Großwetterlagen des DWD für die letzten Jahrzehnte zeigen eine messbare Zunahme von Hochdruckwetterlagen im Sommer und deren Abnahme

im Winter. Die globalen Klimamodelle projizieren für Mitteleuropa eine weitere Verstärkung dieses Trends in den nächsten Jahrzehnten.

An der **DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen** wurde für den Zeitraum von 1901-2005 eine Temperaturerhöhung von 1,2 Kelvin gemessen. Die Messstation liegt aufgrund des Wachstums der Stadt Jena inzwischen im bebauten Stadtgebiet. Daher muss bei Verwendung der Messdaten untersucht werden, ob der generelle Verlauf des Trends der Jahresmitteltemperaturen tatsächlich von großräumigen Veränderungen des Klimas oder von stadtklimatischen Einflüssen bestimmt wird. Zu diesem Zweck werden Messwerte von Vergleichsstationen herangezogen. Dabei handelt es sich um die Stationen Gera-Leumnitz und Weimar. Es konnte festgestellt werden, dass die Erhöhung der Jahresmitteltemperaturen an der DWD-Klimastation Jena im wesentlichen eine Folge großräumiger Klimaänderungen ist, welche stadtklimatische Effekte deutlich überlagern.

Kenntage sind Tage an denen ein bestimmter Temperaturschwellwert über- bzw. unterschritten wird:

- **Eistag:** *Ein Eistag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter 0°C) liegt, d. h. es herrscht durchgehend Frost.*
- **Frosttag:** *Ein Frosttag ist ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0°C) liegt (ohne Beachtung des Lufttemperatur-Maximums).*
- **Sommertag:** *Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur mindestens 25°C beträgt.*
- **Heißer Tag:** *Ein Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur mindestens 30°C beträgt.*

Die **Häufigkeit bestimmter Kenntage** pro Jahr ist ein besser geeigneter Klimaparameter zur Veranschaulichung von Veränderungen der Temperaturverhältnisse als Durchschnittswerte der Temperatur für bestimmte Zeiträume. Veränderungen in der Häufigkeit von z. B. heißen Tagen (Höchsttemperatur über 30°C) ist durch eine erhöhte Wärmebelastung für einen Großteil der Bevölkerung spürbar. Für die DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen wurden die gemessenen Temperatur- und Niederschlagsdaten und die Modelldaten regionaler Klimamodelle (für das Szenario A1B) zu einer durchgehenden Zeitreihe von 1901-2050 zusammengefügt und gleitende 30-jährige Mittel gebildet. Verschiedene Kenntage sind ungeeignet, gegeneinander aufgerechnet zu werden. Im Mittel treten in Jena jedes Jahr ca. 80 Frosttage auf, aber nur ca. 10 heiße Tage pro Jahr (Klimanormalperiode 1961-1990). So kann z. B. eine Abnahme von Eistagen nicht mit der Zunahme von heißen Tagen verrechnet werden. Jeder Kenntag und dessen Auftrittswahrscheinlichkeit pro Jahr muss getrennt betrachtet werden.

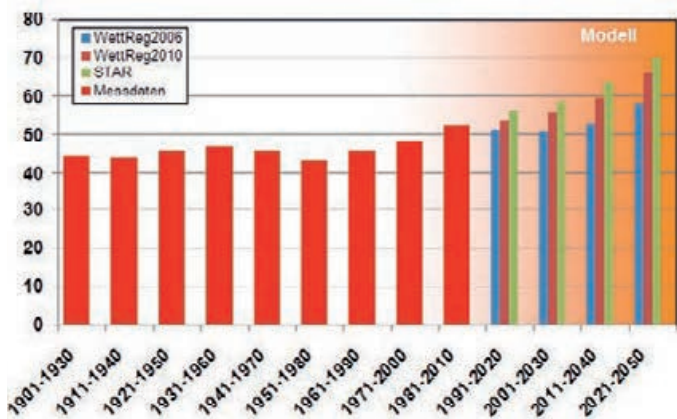


Abbildung 4.3: Entwicklung der Sommertage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

Durch Verwendung mehrerer regionaler Klimamodelle (**Ensemble**) kann eine Bandbreite der wahrscheinlichen klimatischen Entwicklung für Jena aufgezeigt werden. Aussagen mit exakten Werten des zukünftigen Klimas sind hingegen nicht zulässig und würden eine unbegründete Genauigkeit regionaler Klimamodelle suggerieren.

In den letzten fünf Jahrzehnten zeigt sich ein eindeutiger Trend der Zunahme der Anzahl der Sommertage sowie der heißen Tage (Abbildungen 4.3 und 4.4). Die regionalen Klimamodelle zeigen eine Fortsetzung dieses Trends, womit von einer künftig erhöhten Anzahl von **Tagen mit Wärmebelastung** im Sommer ausgegangen werden kann. Das Klimamodell STAR rechnet sogar mit einer Verdopplung der heißen Tage für 2021-2050 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990. In den Abbildungen 5.2 und 5.3 werden zudem die räumlichen Ausprägungen der heutigen und zukünftigen Anzahl der Sommertage für Jena dargestellt.

Die Abnahme der **Frost- und Eistage** (Abbildungen 4.5 und 4.6) hat bereits in den letzten fünf Jahrzehnten zu durchschnittlich milderen Wintern geführt. Auch einzelne kältere Winter können diesen Trend nicht aufheben und sind Zeichen einer normalen klimatischen Variabilität. Zukünftig ist eindeutig von einer geringeren Anzahl von Tagen mit Temperaturen unter 0 °C auszugehen. Die Schneebedeckung wird in den regionalen Klimamodellen nicht projiziert, jedoch wird die Anzahl von Tagen, an denen eine Schneedecke temperaturbedingt erhalten bleibt, deutlich abnehmen. Extreme Witterungslagen in Mitteleuropa wie der milde Winter 2006/2007 und der sehr heiße Sommer 2003 werden in 50-100 Jahren als durchschnittlich angesehen werden. Aussagen über die projizierte zukünftige Temperaturentwicklung gelten wissenschaftlich als plausibel modellierbar. Im Gegensatz dazu sind Modellaussagen

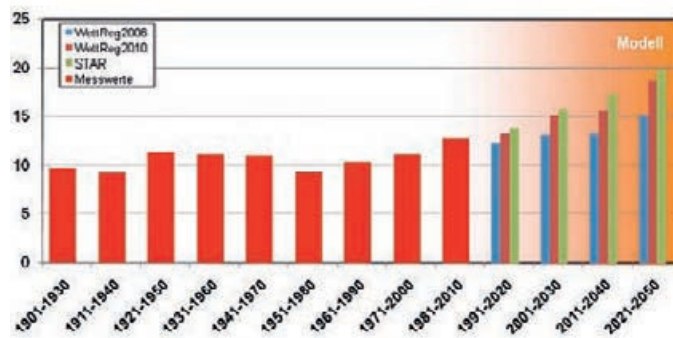


Abbildung 4.4: Entwicklung der heißen Tage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

zur zukünftigen, insbesondere regionalen Niederschlagsentwicklung mit großen Unsicherheiten behaftet. Ein signifikanter Trend, wie jener für die Temperaturentwicklung, lässt sich bei der bisherigen und **zukünftigen Niederschlagsentwicklung** nicht ableiten. Die Auswertung eines Ensembles regionaler Klimamodelle für die DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen zeigt tendenziell zukünftig gleichbleibende saisonale und jährliche Niederschlagssummen (Abbildung 4.7).

Der aktuelle und zukünftige Klimawandel wird sich auf das skizzierte Stadtklima nicht linear auswirken. Dies heißt, bei verschiedenen Prozessen des Klimawandels ist mit stärkeren oder auch schwächeren Entwicklungen gegenüber dem Stadtumland zu rechnen. Insbesondere wird es häufigere und intensivere **Wärmeineleffekte** geben. Innerstädtische versiegelte Bereiche sind dabei besonders überhitzungsgefährdet. Häufigere Hochdruckwetterlagen im Sommer mit

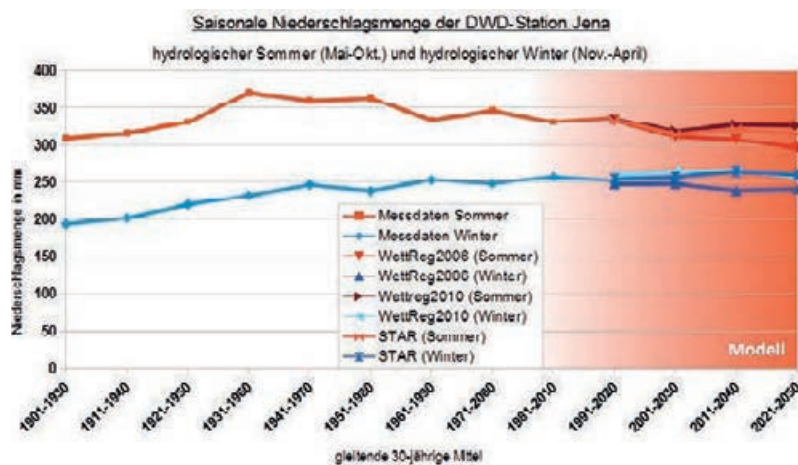


Abbildung 4.7: Entwicklung der saisonalen Niederschlagsmengen an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

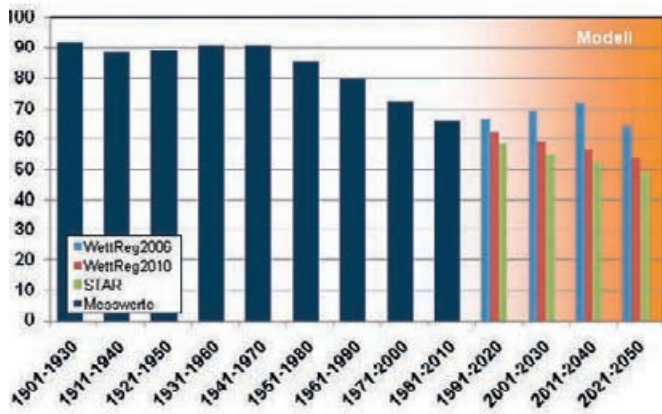


Abbildung 4.5: Entwicklung der Frosttage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

intensiver Sonneneinstrahlung führen in unverschatteten Bereichen zur Minderung der Aufenthaltsqualität. Die Luftfeuchtigkeit weist in Städten in der Regel deutlich niedrigere Werte auf, weil hier die Verdunstung durch Pflanzen geringer ist. Hinsichtlich der relativen Feuchte liegen die Werte im Sommer in Jena um ca. 10 Prozentpunkte unter denen im Umland. Auch diese geringere Verdunstungsleistung hebt das innerstädtische Temperaturniveau an.

Die **klimatische Wasserbilanz** ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung. Fällt für einen bestimmten Zeitraum die potenzielle Verdunstung höher aus als der Niederschlag, führt dies zu einer Verschlechterung der Wasserversorgung der Vegetation. Vor allem in den Vegetationsperioden I (April bis Juni) und II (Juli bis September) wird sich laut regionalen Klimamodellen die klimatische Wasserbilanz weiter verschlechtern (Abbildungen 4.8 und 4.9).

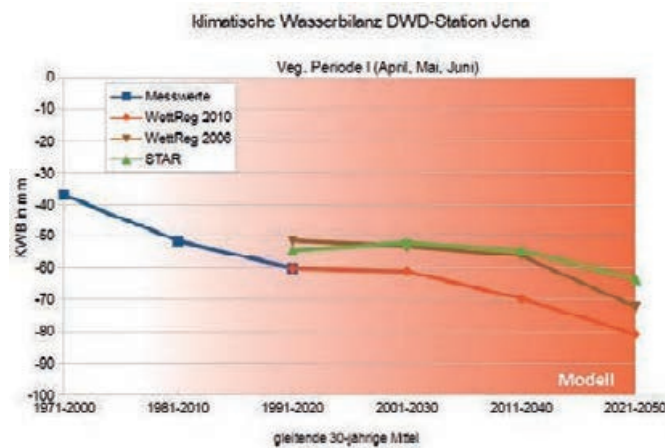


Abbildung 4.8: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationsperiode I an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

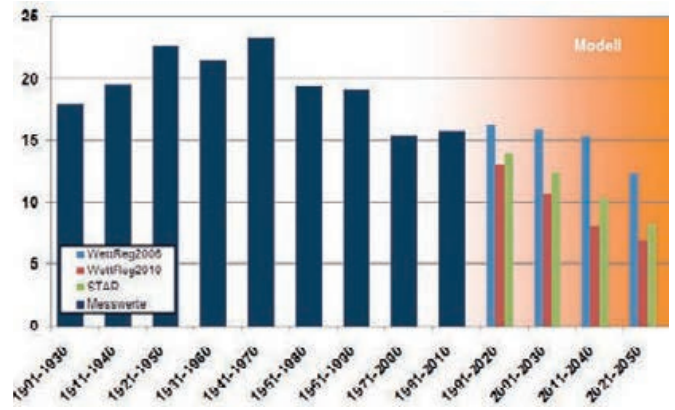


Abbildung 4.6: Entwicklung der Eistage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von **extremen Wetterereignissen** wie Starkregen und Stürmen werden im Kapitel 5.1.5 behandelt. Aussagen aus den regionalen Klimamodellen für die zukünftige Entwicklung solcher Ereignisse in Jena sind nicht möglich. Die zeitliche Auflösung der Klimamodelle von einem Tag ist für Analysen von kurzen intensiven Niederschlagsereignissen ungeeignet. Windspitzen bei Sturmereignissen als geeigneter Parameter zur Einschätzung von Stürmen sind ebenfalls nicht aus Tagesmittelwerten der Windgeschwindigkeit zu extrahieren.

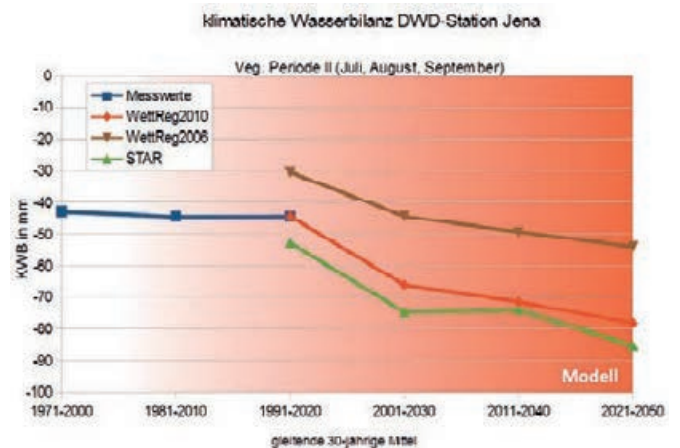


Abbildung 4.9: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationsperiode II an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen

AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF JENA

5.

Die projizierten Auswirkungen des Klimawandels sind vielfältig, direkt und indirekt und stehen oft miteinander in Wechselwirkung. Sie können sowohl schleichender Natur sein (z. B. Veränderung der Jahresmitteltemperatur), als auch Intensität und Häufigkeit von Extremereignissen betreffen (z. B. Starkregenereignisse). Die Klimawirkfolgen treffen im urbanen Bereich auf bestehende Problemlagen und verschärfen diese. Gleichzeitig bieten sich jedoch auch Chancen durch die klimatischen Veränderungen, die keineswegs vergessen, sondern aktiv aufgegriffen werden sollten. Im Folgenden werden die Auswirkungen auf den städtischen Raum unter den Gesichtspunkten „Klimawirkfolgen“ und „Städtische Handlungsfelder“ näher betrachtet. Dabei ist zu beachten, dass die projizierten Auswirkungen des Klimawandels ebenso mit Unsicherheiten behaftet sind wie die Klimaprojektionen selbst. Die hier vorgestellten Klimawirkfolgen orientieren sich an den für urbane Räume relevanten Belastungen und der naturräumlichen Ausstattung des Stadtgebietes.

5.1 KLIMAWIRKFOLGEN

5.1.1 Wärmebelastung

Gesundheitliche Auswirkungen

Die steigende Wärmebelastung stellt wohl die wesentlichste Auswirkung des Klimawandels für Jena dar (Abbildungen 4.3 und 4.4). Dies begründet sich zum einen in der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens. Wie unter Kapitel 4.2 ausgeführt, existiert ein eindeutiger Trend zu höheren Jahresdurchschnittstemperaturen und höheren sommerlichen Temperaturen. Von Temperaturveränderungen sind im Gegensatz zu etwa Extremereignissen alle Bürger Jenas betroffen. Auch die gesundheitlichen Konsequenzen können in diesem Bereich dramatisch sein, was die Hitzewelle im Sommer 2003 bewies. Die Zunahme von heißen Tagen, Tropennächten oder längeren Hitzewellen erhöht die **bioklimatische Belastung** der Bürger. Die Einschränkung

der Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens sowie die Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind die Folgen (SSB 2011). Dies betrifft besonders für Hitze sensible Bevölkerungsgruppen wie Kranke, Senioren und Kleinkinder. Gleichzeitig steigt die hitzebedingte Mortalität und Morbidität. Die Wärmebelastung ist jedoch nicht auf die Tagesstunden und den Aufenthalt im Freien beschränkt. Aufgrund der Materialeigenschaften der Baustoffe wird die einfallende kurzwellige Strahlung als Wärme im Baukörper gespeichert und nur verzögert wieder abgegeben. Dies führt zur Einschränkung der nächtlichen Erholungsphase, was als verminderte Arbeitskraft auch volkswirtschaftliche Schäden nach sich zieht (MUNLV NRW 2010, Kuttler 2011a). Gleichzeitig wird für die Klimatisierung von Gebäuden im Sommer ein höherer Energiebedarf entstehen.

Chancen des Klimawandels

Steigende mittlere Temperaturen haben jedoch auch positive Effekte. So verringert sich durch mildere Winter der **Heizenergiebedarf** und der Aufwand für den Winterdienst, was positive wirtschaftliche Folgen hat. Der Netto-Effekt im Zusammenhang mit der zusätzlich benötigten Energie für die Kühlung von Gebäuden im Sommer ist ungewiss.

Eine eventuelle Verlängerung der **Tourismussaison** könnte der Stadt Jena eine wachsende Zahl an Besuchern sowie eine bessere Auslastung lokaler Übernachtungsbetriebe bescheren. Höhere Temperaturen können in der Freiluftsaison zu einem Besucherzuwachs von Straßen- und Gartenlokalen, Schwimmbädern, Parks sowie Freiluftkonzerten und anderen kulturellen Veranstaltungen mit entsprechender Umsatzsteigerung führen.

Die verlängerte Freiluftsaison könnte von der Bevölkerung als Steigerung ihrer **Lebensqualität** wahrgenommen werden und auch in der Außenwirkung als Erhöhung der Aufenthaltsqualität für Besucher beworben werden. Positive Effekte für die Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung sind daher nicht zu vernachlässigen (Brandt

2007). Für die Planer stellt sich damit die Aufgabe, „das Problem der städtischen Wärmeinsel so zu behandeln, dass im Wesentlichen die sommerlichen Temperaturspitzen reduziert werden“ (MUNLV NRW 2010).

Höhere jährliche Durchschnittstemperaturen verbessern auch die Anbaumöglichkeiten für **Sonderkulturen**. Für die Stadt Jena ist dies der Weinbau an verschiedenen sonnigen Hängen des Saaletals.

Betroffenheiten im Stadtgebiet

Wie unter Kapitel 3.1 ausgeführt, steht das Ausmaß der Überwärmung an einem Punkt innerhalb der Stadt in direktem Zusammenhang mit dem Versiegelungsgrad im Quartier, der baulichen Strukturierung, den verwendeten Materialien, dem Besatz mit Grünflächen und Straßenbäumen sowie entlastenden Momenten wie lokalen Windsystemen. Unter diesen Gesichtspunkten sind die betroffenen **urbanen Bereiche** vorbestimmt (Abbildung 5.1): vor allem stark verdichtete Innenstadtbereiche und Industrie-/Gewerbegebiete mit geringem Grünanteil und ohne Anbindung an frisch- bzw. kaltluftführende Luftleitbahnen sind bei austauscharmen Wetterlagen von der Wärmebelastung betroffen.

Abbildung 5.2 zeigt die mittlere jährliche Anzahl der Sommertage, also Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25°C, für die Klimaperiode 1971-2000. Mithilfe dieser und der folgenden Karte kann die **Wärmebelastung im Stadtgebiet**, wie sie bei einer sommerlichen, autochthonen Wetterlage zu erwarten wäre, abgeschätzt werden. Die mittlere jährliche Anzahl der Sommertage dient in dieser Betrachtung als Indikator für die Wärmebelastung im Stadtgebiet. In der Regel werden Aussagen zur Wärmebelastung mittels bioklimatischer Indikatoren wie PMV (predicted mean vote) bzw. PET (physiological equivalent temperature) getroffen, die auch Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlung berücksichtigen. Eingangsdaten für diese Indizes standen jedoch nicht flächendeckend für Jena zur Verfügung. Die der Karte zugrundeliegenden Daten entstammen der

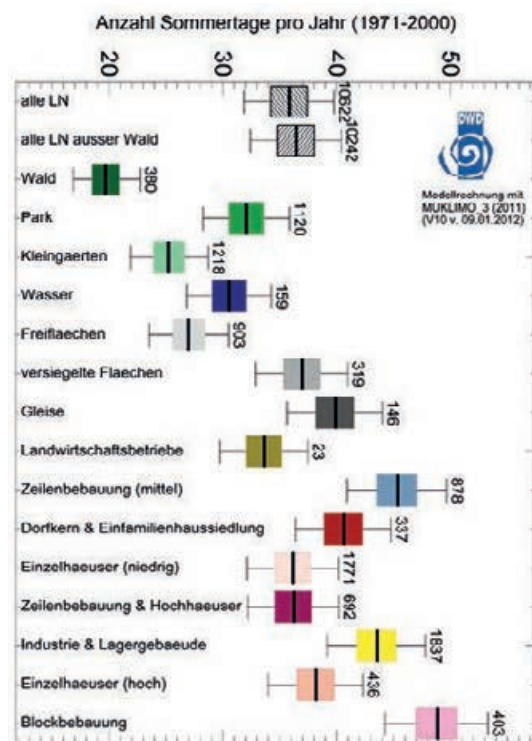
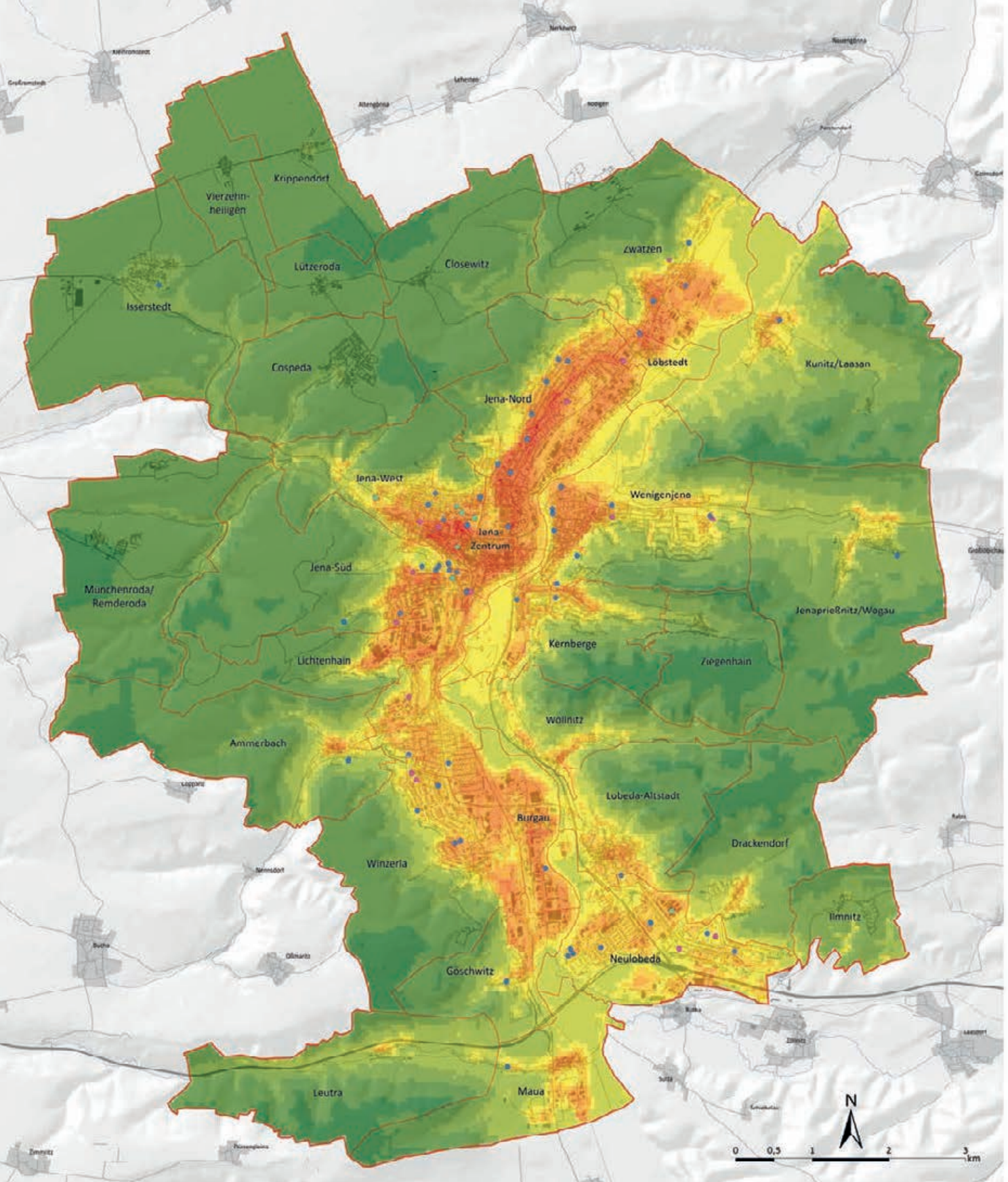


Abbildung 5.1: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen für verschiedene Landnutzungen in Jena im Zeitraum 1971-2000 (Quelle: DWD 2012b)

Modellierung des Deutschen Wetterdienstes (Kapitel 3.2) mit dem mikroskaligen urbanen Klimamodell MUKLIMO_3.

Die **Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Sommertage** zeigt besonders für das Stadtzentrum, Jena-Nord, Jena-West, Jena-Süd, Wenigenjena, Burgau, aber auch für Löbstedt und Zwätzen hohe Werte (Abbildung 5.2). Dies korreliert mit den dort vorwiegend anzutreffenden Klimatotypen „Stadtkern“, „Stadt“, „Industrie“ und „Gewerbe“, die sich durch oben genannte Charakteristika auszeichnen. In Jena-Nord sind teils auch die Baublöcke der 1950-60er Jahre im Großsiedlungsklimatop, in Löbstedt und Zwätzen der alte, verdicht-



Anzahl der Sommertage im Stadtgebiet Jena (I): 1971-2000

Im Sommer kann es bei austauscharmen Wetterlagen zu einer Aufheizung bebauter bzw. versiegelter städtischer Bereiche kommen und damit auch zu einer Wärmebelastung für die Bevölkerung. Zur Abschätzung der Wärmebelastung können Informationen zur flächenhaften Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl der Sommertage (Tage mit Höchsttemperatur von mindestens 25°C) im Stadtgebiet für den Zeitraum 1971-2000 herangezogen werden. Diese basieren auf Simulationen des Deutschen Wetterdienstes mit dem mikroskaligen urbanen Klimamodell MUKIMO_3, die im Rahmen der Kooperation im JENKAS-Projekt erstellt wurden. Dargestellt sind auch Einrichtungen mit Bevölkerungsgruppen, die von der Wärmebelastung stärker betroffen sein könnten, z.B. Seniorenheime, Kinder-Tagesstätten und Kliniken. Die Ergebnisse liegen für das Stadtgebiet in einem räumlichen Auflösung von 50 m vor und dienen einer ersten groben Abschätzung zur Wärmebelastung auf Quartiersebene. Für höher aufgelöste Ergebnisse ist ein mikroklimatisches Gutsachten angehen.

Städt. Deutscher Wetterdienst (2012), Stadt Jena (2003, 2010, 2012), erstellt im Februar 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (INK) Jena im Rahmen des skizzenforschungsbereichs "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Veröffentlichungen sind Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.

Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage

über 5 bis 10	über 35 bis 40
über 10 bis 15	über 40 bis 45
über 15 bis 20	über 45 bis 50
über 20 bis 25	über 50 bis 55
über 25 bis 30	über 55 bis 60
über 30 bis 35	

Für Wärmebelastung besonders sensible Nutzungen

- Pflegeheime und Tagesbetreuung (Senioren)
- Kindertagesstätten
- Universitätskliniken



Abbildung 5.2: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen im Zeitraum 1971-2000

tete Dorfkern davon betroffen. Im Gegensatz dazu zeichnet sich das Klimatop „Großsiedlung“ in der Variante der Plattenbauweise der 1970-80er Jahre in Winzerla und Neulobeda durch eine geringere Anzahl Sommertage aus. Die Ursache hierfür liegt in der vergleichsweise „luftigen“ Bauweise und den dazwischenliegenden Grünflächen, die eine bessere Belüftung ermöglichen. Ebenfalls in der Karte dargestellt sind Nutzungen für Bevölkerungsgruppen, die besonders sensibel auf Wärmebelastung reagieren. Dazu zählen Pflegeheime und Tagesbetreuungen für Senioren, Kindertagesstätten und Kliniken. Davon liegen jedoch nur wenige Einrichtungen in Gebieten mit hoher Wärmebelastung (Jena-Nord, Jena-West, Jena-Zentrum).

In Abbildung 5.3 ist die **räumliche Veränderung der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen** zwischen den Zeiträumen 1971-2000 und 2021-2050 (Szenario A1B) der regionalen Klimamodelle CLM, REMO, STAR und WETTREG 2006 auf Basis der Modellierung mit MUKLIMO_3 dargestellt. Die vier Modelle zeigen aufgrund unterschiedlicher Ansätze differierende Veränderungssignale. Trotzdem ist die modellübergreifende Tendenz zu einer steigenden Anzahl von Sommertagen im Stadtgebiet gegeben. Dies ist wieder besonders in den Bereichen mit verdichteter Bebauung zu beobachten, was eine Steigerung der Wärmebelastung in bereits stärker betroffenen Gebieten bedeutet.

Die Ergebnisse für das Stadtgebiet liegen in einer räumlichen Auflösung von 50 m vor und dienen einer ersten groben Abschätzung der Wärmebelastung auf Quartiersebene. Für höher aufgelöste Ergebnisse ist ein **mikroklimatisches Gutachten** analog zur Vorgehensweise beim B-Plangebiet „Eichplatz“ angeraten. Über dieses können auch aussagekräftige Indikatoren der Wärmebelastung wie PMV oder PET generiert werden.

5.1.2 Hochwasser und Überschwemmungen

Durch den projizierten Klimawandel ergeben sich auch für die Fließgewässer im Stadtgebiet Konsequenzen. Dabei muss in Jena grund-

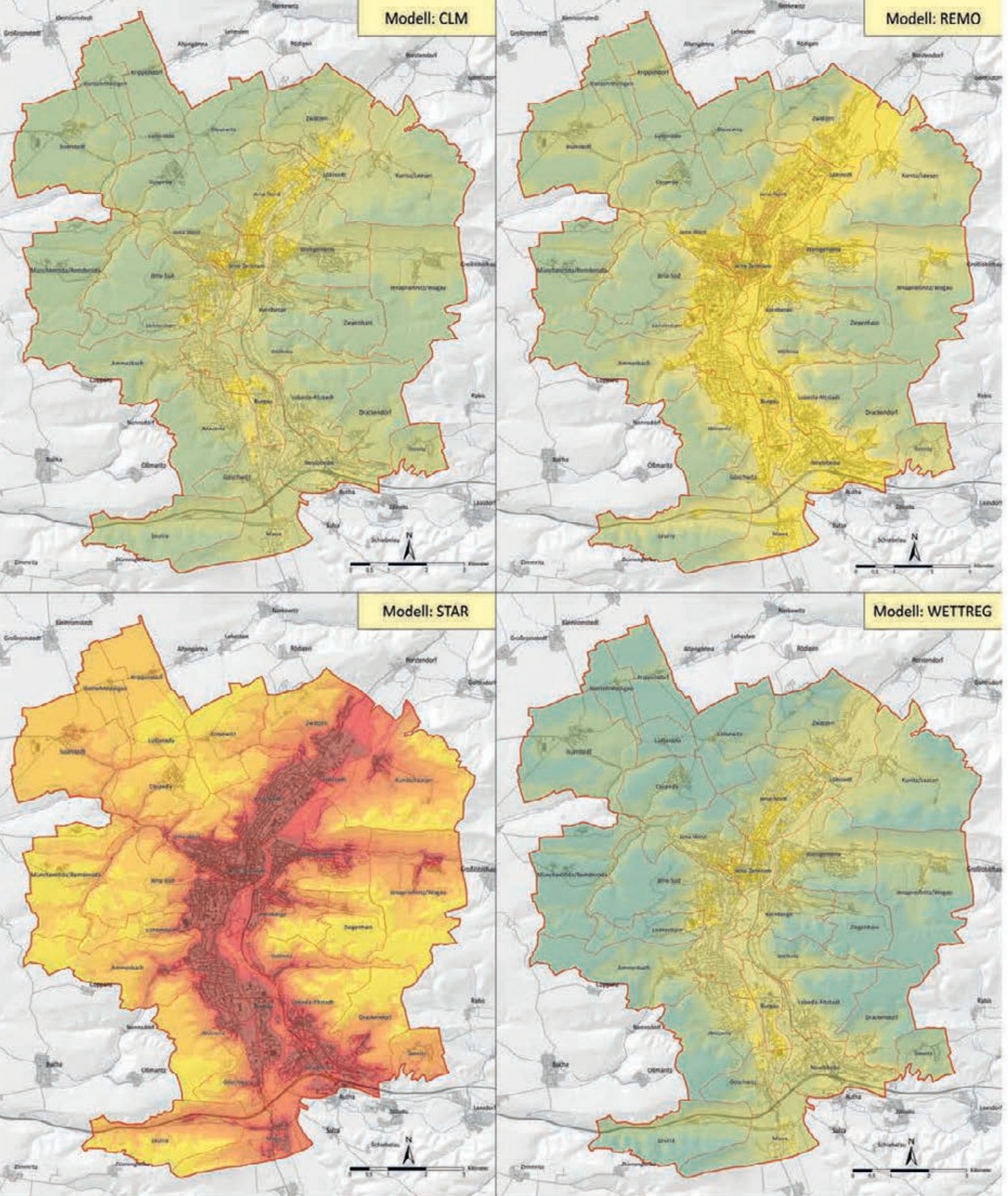
sätzlich zwischen zwei Formen unterschieden werden: zwischen Hochwässern die sich durch die Saale ergeben und Hochwässern, die in kleinen Nebengerinnen der Saale (z. B. Leutra) entstehen.

Situation an der Saale

Allgemein wird der Wasserstand der Saale durch die Talsperren Hohenwarte und Bleiloch im Oberlauf beeinflusst. Für die Saale muss die künftige **Hochwasserentwicklung** als unsicher angesehen werden. Hier werden die höheren Temperaturen und der geringere Schneeanteil im Winter zu selteneren Hochwasserereignissen führen, die durch Regen auf Schnee und gefrorenen Böden initiiert werden. Andererseits treffen winterliche Starkniederschläge auf einen erhöhten Basisabfluss, wodurch der Hochwasserpegel schneller erreicht werden kann. Das Zusammentreffen von Starkniederschlägen und Schneeschmelze war auch Ursache für das etwa 50-jährige Saalehochwasser (Abbildung 5.4), das im April 1994 im Stadtgebiet große Schäden anrichtete. Hingegen führen zunehmende sommerlichen Trockenperioden zu weniger Sommerhochwässern. Ob die wahrscheinlich zunehmende Häufigkeit von kurzzeitigen Starkregenereignissen, die in den kleinen Vorflutern regelmäßig Hochwasser verursachen, in der Intensität und Dauer ausreichen, um auch an der Saale ein Hochwasser auszulösen, ist unklar. Einen ersten Hinweis auf mögliche Veränderungen der künftigen Hochwasserlage an der Saale geben die Ergebnisse des ESPON Climate Project (Greiving 2011), die für das Stadtgebiet Änderungen der Überflutungshöhen verschiedener Saaleabschnitte je nach Abschnitt zwischen -1 und +1 m für ein 100-jähriges Hochwasser angeben (Szenario A1B, Jahr 2100).

Nebengerinne und Kanalisation

Bei Hochwässern durch Starkregenereignisse an den **Nebengerinnen** ist eine Steigerung der Gefährdung möglich (Kapitel 5.1.5). Die veränderten klimatischen Bedingungen werden zukünftig dazu führen, dass sich die Bemessungsgrundlagen für die Jährlichkeiten von Ex-



Anzahl der Sommertage im Stadtgebiet Jena (II): 2021-2050

Im Sommer kann es bei austauschenden Wetterlagen zu einer Aufheizung bebauter bzw. versiegelter städtischer Bereiche kommen und damit zu einer Wärmebelastung für die Bevölkerung. In Zukunft könnte sich diese Belastung weiter verstärken. Die vorliegende Karte zeigt die räumliche Veränderung der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen (Tage mit Höchsttemperatur von mindestens 25°C) zwischen den Zeiträumen 1971-2000 und 2021-2050 (Scenario A1B) der regionalen Klimamodelle CLM, REMO, STAR und WETTREG 2006. Grundlage sind die Ergebnisse der mikroklimatischen Modellierungen der Deutschen Wetterdienst mit MUKLIMO_3, die im Rahmen der Kooperation im JenKAS-Projekt erstellt wurden. Die Modelle zeigen aufgrund unterschiedlicher Ansätze differierende Veränderungssignale. Trotzdem ist die allgemeine Tendenz zu einer steigenden Anzahl von Sommertagen im Stadtgebiet gegeben, was besonders für vorbelastete Gebiete eine kritische Steigerung der Wärmebelastung bedeuten kann. Die Ergebnisse liegen für das Stadtgebiet in einer räumlichen Auflösung von 50 m vor und dienen einer ersten groben Abschätzung zur Wärmebelastung auf Quartiersebene. Für höher aufgelöste Ergebnisse ist ein mikroklimatisches Gutachten angeraten.

Daten: Deutscher Wetterdienst (2012), Stadt Jena (2005, 2010, 2011). Erstellt im März 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (Think) Jena im Rahmen des ExWSt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Konzeptionelle Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vervielfältigungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.



Änderung der mittleren jährlichen Anzahl von Sommertagen



Abbildung 5.3: Veränderung der mittleren jährliche Anzahl an Sommertagen für die Periode 2021-2050



Abbildung 5.4: Auswirkungen des Saalehochwassers im Bereich Oberaue am 14. April 1994 (Quelle: LaNaServ/D. Stremke)

tremereignissen verändern. Dies kann bedeuten, dass ein heutiges HQ_{50} künftig als HQ_{20} eingestuft wird. Ein Starkregenereignis führte z. B. zeitgleich zum Saalehochwasser im April 1994 zur Überflutung der Baugrube der Goethe-Galerie (Abbildung 5.5), die als unfreiwilliger Zwischenspeicher diente und die restliche Innenstadt vor den Wassermassen der übertretenden Leutra bewahrte. In den letzten Jahren ist es in diesem Bereich der Leutra gehäuft zu Hochwassersituationen gekommen, worauf die Stadt Jena mit Anpassungsmaßnahmen reagiert (Kapitel 11.1).

Des Weiteren kann es zu Überschwemmungen abseits von Saale und Nebengerinnen kommen. Dies ist dann der Fall, wenn Starkregenereignisse Oberflächenabfluss produzieren, der vom **Kanalnetz** nicht aufgenommen werden kann. Örtlich führt dies zu Überstausituationen an Einlässen der Kanalisation und zur Bildung von kleineren Wasserflächen in abflusslosen Straßensenken. Abbildung 5.6 zeigt, dass eine solche Situation bereits bei normalen Regenereignissen (in diesem Fall: ca. 9 l/m^2) eintreten kann.

Nach sehr intensiven Starkregenereignissen kann es auch zu **Sturzfluten** kommen. Dabei überfluten innerhalb von Minuten bis Stunden nach einem Starkregenereignis plötzlich große Wassermassen in einer rasch ansteigenden, äußerst energiereichen Hochwasserwelle ein Gebiet und richten in der Regel große Schäden an (Castro et al. 2008). Die vorliegenden Daten für Jena (Stationsdaten des DWD und MPI, Feuerwehreinsatzdatenbank, Presseberichte) liefern jedoch keine Anhaltspunkte für derartige Ereignisse im Stadtgebiet.

Gefahren durch Überschwemmungen

Die Gefahren, die aus Hochwasser- und Überschwemmungssituationen resultieren, variieren je nach der Magnitude des Ereignisses. Dies reicht von **materiellen Schäden** an Infrastruktur und Privateigentum bis zur **Gefährdung von Menschenleben**. Gleichzeitig kann es bei der Mischung von Hoch- und Abwasser zu hygienischen und **gesundheitlichen Belastungen** von Flächen, Böden und Gewässern



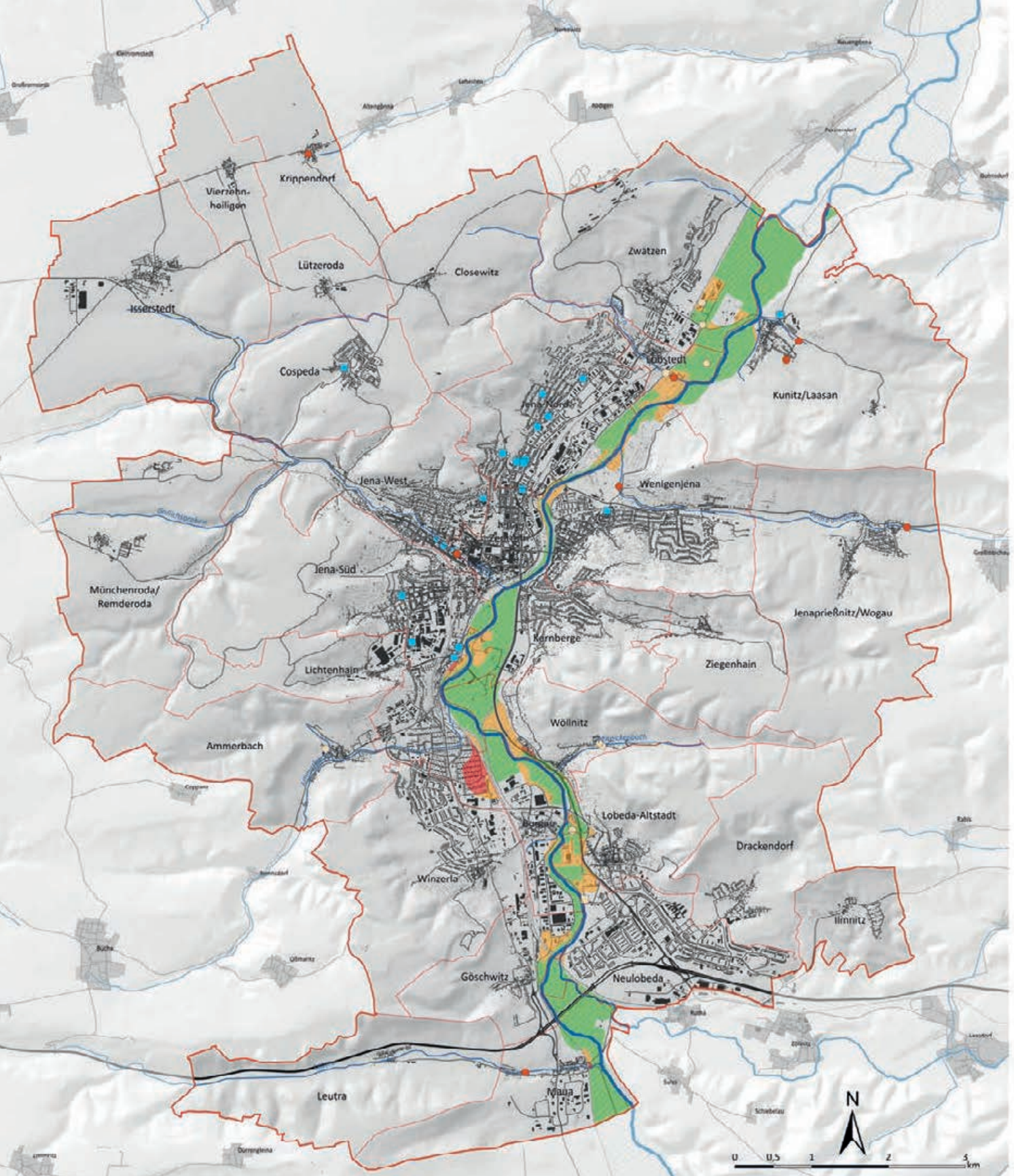
Abbildung 5.5: Überflutete Baugrube der Goethe-Galerie nach einem Hochwasserereignis an der Leutra im April 1994 (Quelle: Stadt Jena)

durch transportierte Abwasserinhaltsstoffe wie Keime, Krankheitserreger, Phamarückstände und Chemikalien kommen (MUNLV NRW 2010).

Betroffenheiten im Stadtgebiet

Als Konsequenz aus dem Saalehochwasser 1994 wurden neue und größere Überschwemmungsgebiete festgesetzt, die nun auf ein 100-jähriges Hochwasser ausgelegt sind. Diese Überschwemmungsgebiete für das HQ_{100} dienten als Eingangsdaten für die Betroffenheitsanalyse der **Saale** (Abbildung 5.7). Hier wurden je nach Landnutzung und Schadensqualität (Sachschäden, Menschenleben) Betroffenheitsklassen gebildet: Acker- und Grünland, Wald, Freiflächen (gering); Industrie, Gewerbe, Kleingärten, „Nichtwohn-Siedlungsfläche“ (mittel); Gebiete mit Wohnnutzung (hoch). Dabei ergeben sich im Falle eines 100-jährigen Hochwassers hohe Betroffenheiten für Teile des Wohngebietes „Ringwiese“ und kleinere Flächen in Wöllnitz, Maua und am Burgauer Weg. Hohe Sachschäden würden sich vor allem in Teilen des Gewerbegebietes Göschwitz, im Bereich westlich der Stadtrodaer Straße in Lobeda (Gärtnerei Boock) sowie am und um das Ernst-Abbe-Sportfeld einstellen.

Für die Betroffenheiten an den **Nebengerinnen** konnte auf die langjährige Erfahrung in der Stadt in Form einer Übersicht von Schwerpunkten zurückgegriffen werden, die sich auch in Abbildung 5.7 finden. Weiterhin konnten Betroffenheiten durch die Auswertung von Einsatzdaten der Feuerwehr und Niederschlagsdaten der zwei Messstationen des Max-Planck-Institutes für Biogeochemie – Beutenberg-Campus und Saaleaue – abgeleitet werden. Dies umfasste die Überprüfung von etwa 1.000 Einsätzen des Bereiches Hilfeleistungen der Feuerwehr des Zeitraums Januar 2009 bis Juli 2011. Davon wurden 56 Einsätze auf ihre Verbindung zu Starkniederschlagsereignissen analysiert, was für vier Einsätze (im Bereich Leutra/Jahnstraße) eine Bestätigung erbrachte. Gleichzeitig konnten acht Hochwasser-Einsätze mit Schneeschmelzereignissen und 20 Einsätze



Hochwassergefährdung im Stadtgebiet Jena

Die Hochwasser- bzw. Überschwemmungsgefährdung im Stadtgebiet ergibt sich durch verschiedene Ereignistypen. Zur Abschätzung der Hochwassergefährdung an der Saale wurden die Flächen im Überschwemmungsgebiet für ein HQ100 in Schadensklassen eingeteilt. An den Nebengerinnen der Saale führen Extremniederschläge und Schneeschmelze zu Hochwasserereignissen. Hier geben langjährige Erfahrungswerte der Stadtverwaltung und Feuerwehreinsetzdaten (2009-2011) beispielhaft Aufschluss über gefährdete Bereiche. Weiterhin dargestellt sind Lokaltäten, an denen Probleme der Kanalisation zu kleineren Überschwemmungen an Kanaleinläufen und in Straßensenken führten.

Daten: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2002), Stadt Jena (2005, 2010, 2011). Erstellt im Februar 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (think) Jena im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vervielfältigungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.

Gefährdung Saale

Überschwemmungsgebiet (HQ100)

Detroffene Nutzungen bei HQ100 im Überschwemmungsgebiet:

- Freiland, Grünflächen, Wald
- Industrie, Gewerbe, Kleingärten
- Wohngebiete

Gefährdung Nebengerinne

● HW-Schwerpunkte (II. Ordnung)

Feuerwehreinsetzpunkte aufgrund von:

- Hochwässer (Starkregen)
- Hochwässer (Schneeschmelze)
- Kanalisation (Starkregen)
- Kanalisation (Schneeschmelze)



Abbildung 5.7: Betroffenheit durch Hochwasser und Überschwemmungen im Stadtgebiet Jena



Abbildung 5.6: Überschwemmung einer Straßensenke in der Lößstedter Straße nach einem Regenereignis am 17. Juli 2012 (Quelle: Lerm)

mit Überschwemmungen durch überlastete **Kanalisation** in Verbindung gebracht werden. Die so ermittelten räumlichen Schwerpunkte stellen ein erstes Schlaglicht dar. Für eine aussagekräftige Identifizierung und Validierung von Schwerpunkten ist jedoch die Analyse eines größeren Zeitraums (mindestens zehn Jahre) erforderlich und empfohlen.

5.1.3 Trockenheit

Veränderung der klimatischen Wasserbilanz

Durch die zunehmenden Temperaturen im Sommer wird es in Zukunft auch zu **stärkerer Trockenheit** im gesamten Stadtgebiet kommen, d. h. die klimatische Wasserbilanz wird sich weiter verschlechtern (Abbildung 5.8). Damit verringern sich auch die Boden- und oberflächennahen Grundwasservorräte. Die Trinkwasserversorgung Jenas erfolgt durch tiefes Grundwasser aus Brunnen im Saale- und Rodatal und einer Quelle (Fürstenbrunnen) auf dem Stadtgebiet sowie zu einem Viertel durch Fernwasser aus der Ohra-Talsperre (JenaWasser 2012). Diese tiefen Grundwasservorräte sind durch ihre Lage und Ausdehnung relativ unempfindlich gegenüber Änderungen der klimatischen Bedingungen bzw. der Niederschlagsverhältnisse und geben diese ggf. erst mit großer zeitlicher Verzögerung wieder. Die Vorräte der Talsperren scheinen durch eine genügende Speicherung der auch in Zukunft wahrscheinlich ausreichenden Winterniederschläge bis in den Sommer gesichert. Allerdings kann die eventuelle Verringerung sommerlicher Niederschläge zu einer Reduzierung der lokalen Verfügbarkeit von Brauchwasser (z. B. zum Bewässern, für Kühl- und Produktionsprozesse) aus Oberflächengewässern führen.

Auswirkungen stärkerer Trockenheit

Längere Trockenperioden führen zu einer Austrocknung des Oberbodens auf un- oder nur dünn bewachsenen Flächen. Dadurch ist eine **Erosionsgefährdung** durch Wind und Wasser gegeben. Des weiteren

sorgen sommerliche Starkniederschläge für **erhöhten Oberflächenabfluss**, da die ersten Niederschläge nicht in den ausgetrockneten Oberboden eindringen können. Die Überlastung von Kanalisation und Vorflutern und ein erhöhtes Überschwemmungsrisiko sind die Folgen.

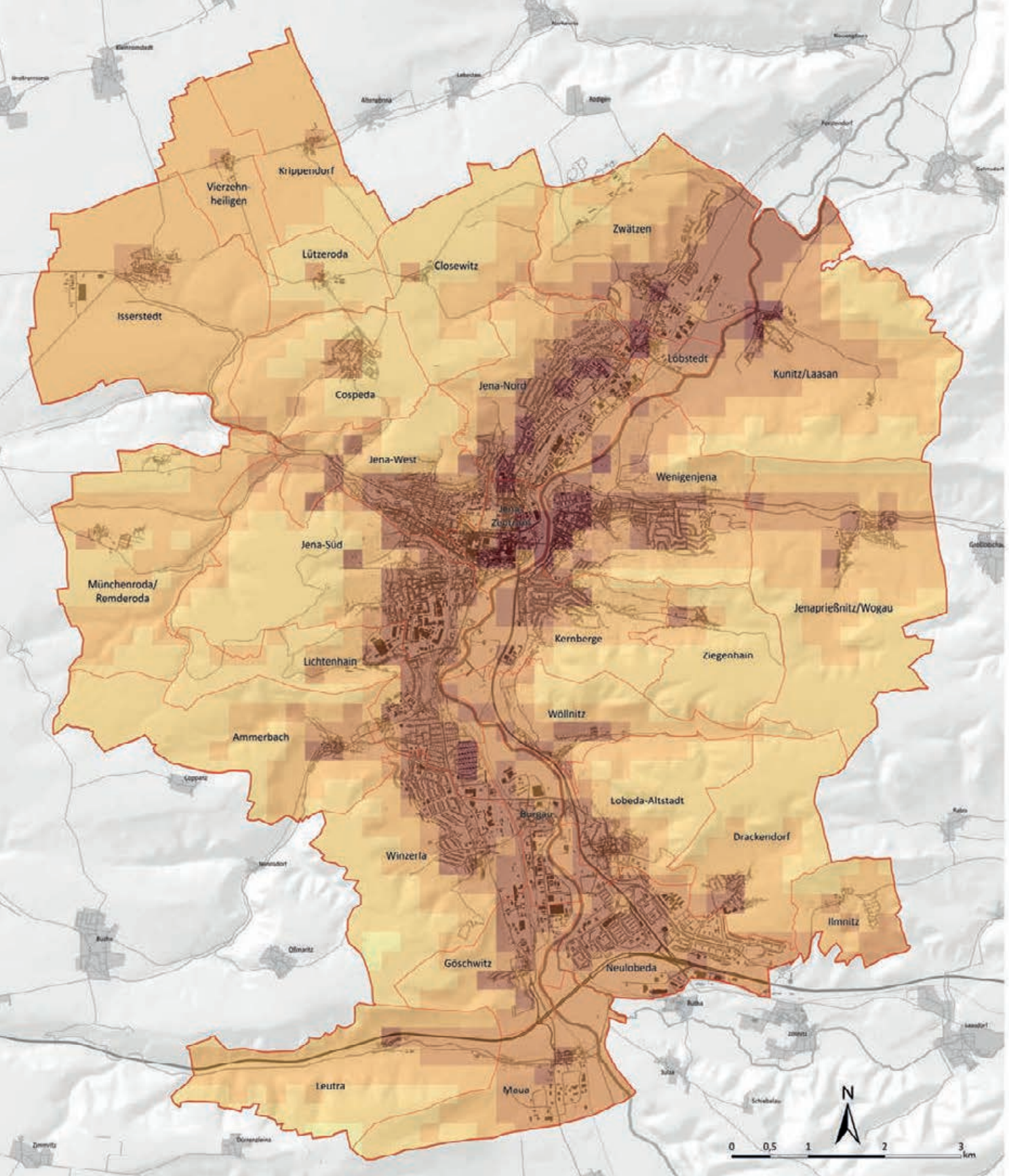
Andererseits sorgt das Ausbleiben regelmäßiger Niederschläge während der Trockenperioden dafür, dass sich vermehrt **Ablagerungen in Mischwasser- und Abwasserkanälen** bilden, die neben einer Minderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit auch zu hygienischen Belastungen führen können. Neben den durch begrenzte Neubildung verringerten **Grundwasservorräten** führen auch die niedrigen **Wasserstände der Oberflächengewässer** zu einer Beeinträchtigung von Grünflächen, Wald- und Feuchtgebieten sowie kleiner Fließgewässer (MUNLV NRW 2010).

Für die Vegetation bedeutet das Zusammenwirken von steigenden Temperaturen, höheren Verdunstungsraten und die Verringerung der Boden- und Grundwasservorräte vor allem eine **Zunahme des Trockenstresses** im Sommer. Als Konsequenz kommt es zu Beeinträchtigungen von Wachstum und Produktivität der Pflanzen und damit z. B. zu Einschränkungen oder Einbußen in der Landwirtschaft und vertrockneten Grünflächen in Innenstädten.

Aber auch eine steigende **Waldbrandgefahr** sowie die Einwanderung angepasster Organismen (z. B. Ambrosia, Furchenbiene) und damit eine Verschiebung des Artenspektrums werden begünstigt. Je nach Pflanzenart und Standort kann die Vegetation dies mehr oder weniger gut tolerieren.

Betroffenheiten im Stadtgebiet

Für das Jenaer Stadtgebiet können bezüglich Trockenheit unterschiedliche Betroffenheiten festgestellt werden. In **grundwasserfernen Gebieten**, in denen die Pflanzen sich primär über Sickerwässer der Niederschläge versorgen, gibt es eine hohe Betroffenheit sofern die Vegetation nicht bereits über Anpassungskapazitäten verfügt.



Klimatische Wasserbilanz im Sommerquartal im Stadtgebiet Jena

Aufgrund der projizierten klimatischen Veränderungen ist künftig mit einer Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz zu rechnen. Die Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung des meteorologischen Sommers (Juni, Juli, August) erlaubt erste Aussagen über das künftige sommerliche Wasserangebot und somit über Trockenheit im Stadtgebiet. Die Karte für die Periode 2021-2050 basiert auf Daten der Klimadatenbank REKLI III und des regionalen Klimamodells WettReg2006 (Szenario A1B) die mittels des Wasserhaushaltsmodells J2000g generiert wurden. Aufgrund der groben räumlichen Auflösung der Ergebnisse von 250 m sind nur grundlegende Aussagen möglich.

Daten: Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie / Institut für Geographie der Friedrich-Schiller-Universität Jena (2008), Stadt Jena (2006, 2008). Erstellt im April 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimawissenschaft (THINK) Jena im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Vernetzungsgruppen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.

Klimatische Wasserbilanz im Sommerquartal (2021-2050) (mm)

- 55 bis -50
- über -50 bis -40
- über -40 bis -30
- über -30 bis -20
- über -20 bis -10
- über -10 bis 0

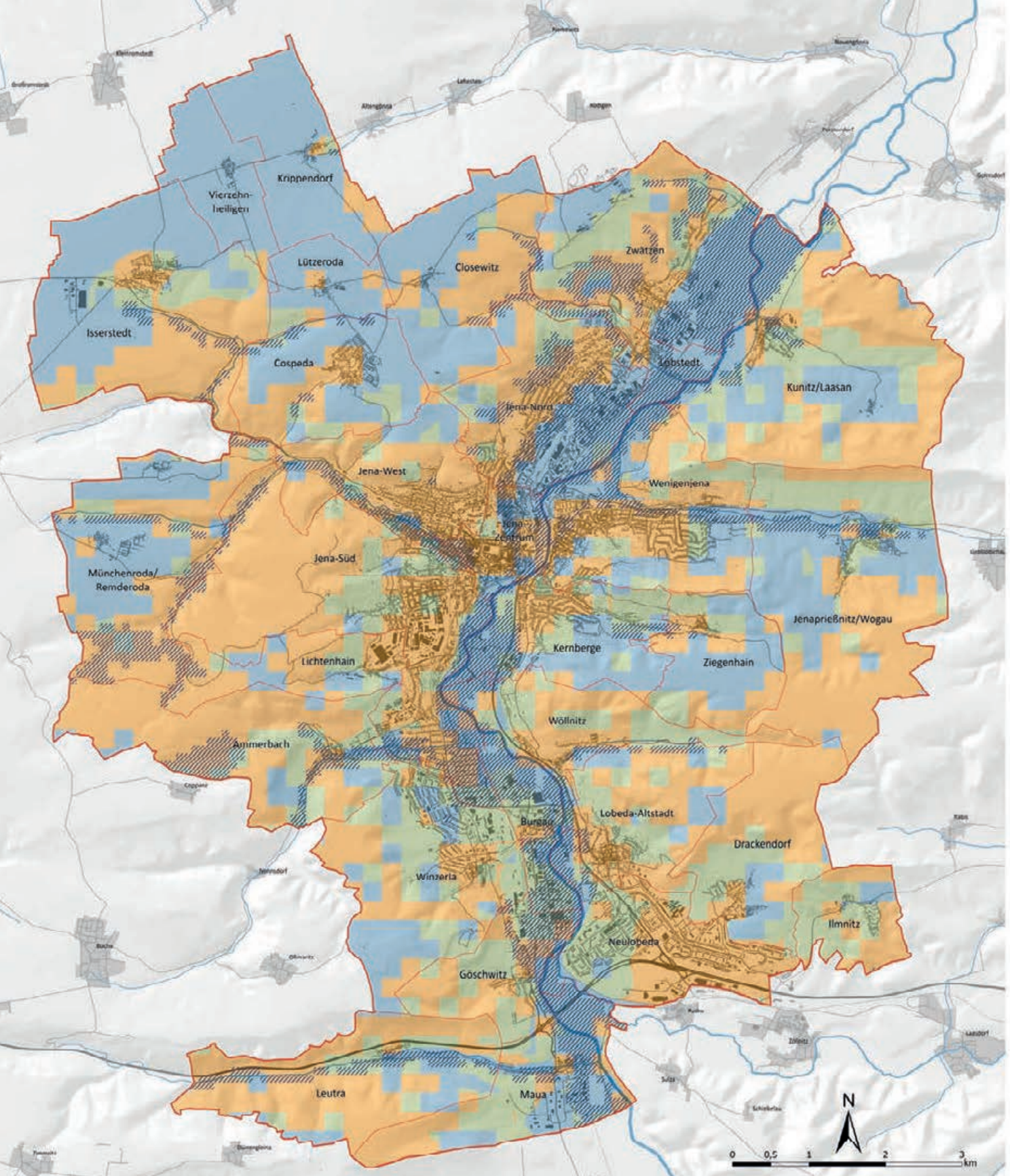


Abbildung 5.8: Klimatische Wasserbilanz für das Sommerquartal im Stadtgebiet Jena (Periode 2021-2050)

Die Region um Jena beheimatet aus naturschutzfachlicher Sicht vor allem **Halbtrocken- und Trockenrasen** u. a. mit bedeutenden **Orchideenstandorten**. Eine Klimaänderung hat hier wahrscheinlich nur geringen Einfluss, da diese Biotope weitgehend an Trockenheit und Hitze im Sommer angepasst sind. Für die Orchideen könnten die milden Winter zwar eine positive Veränderung bringen, ein Anstieg des Bestands und der Artenzahl der Orchideen ist jedoch nur bei ausreichendem Winterniederschlag und milden Frühjahren wahrscheinlich, sofern deren Lebensräume nicht im Zuge der Sukzession durch andere Lebensgemeinschaften besiedelt werden (Verbuschung). Eine Gefahr besteht jedoch hinsichtlich der Austrocknung der Tümpel auf den Hochflächen (z. B. Windknollen) oder vereinzelter Feuchtf Flächen in den Niederungen (z. B. Tongrube Wogau).

Stärker betroffen sind die umfangreichen **Agrar- und Forstflächen** sowie **städtische Grünflächen**. Abbildung 5.9 zeigt die Wasserversorgung der Vegetation als Summe aus klimatischer Wasserbilanz für die Vegetationsperioden I+II (April-September) für den Zeitraum 2021-2050 (WettReg 2006/Szenario A1B) und der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes. Bei der Erstellung der Karte wurde vereinfachend angenommen, dass der Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode vollständig aufgefüllt ist. Dies ist jedoch nicht in allen Fällen die Realität in Jena. Für Standorte mit nicht gefülltem Bodenwasserspeicher bedeutet dies in der Konsequenz eine noch geringere Wasserversorgung und damit stärkeren Trockenstress als in Abbildung 5.8 aufgezeigt. Dabei weisen vor allem die Flächen auf dem Jenaer Forst, um das Mühlthal, an der östlichen Grenze des Stadtgebietes zwischen Drackendorf und Jenaprießnitz sowie in vielen verdichteten Bereichen (Südviertel, Stadtzentrum, Jena-West, Lobeda, Jena-Ost) eine künftig schlechte Wasserversorgung auf. Die agrarisch genutzten Hochflächen im Nordwesten und Westen des Stadtgebietes und der Auenbereich der Saale zeigen aufgrund ihrer Böden auch künftig ein gutes Wasserangebot.

Angesichts schlechter Datenlage konnte der kapillare Grundwasseranstieg nicht detailliert in die Berechnung einbezogen werden. Jedoch wurden die Bereiche, in denen eine **Grundwasseranbindung der Vegetation** aufgrund der Bodenverhältnisse wahrscheinlich ist, separat gekennzeichnet. Hier dürfte das Wasserangebot noch höher und die Wasserversorgung unproblematisch sein. Dies betrifft hauptsächlich die **Auenbereiche der Saale** und die **Taltiefenlinien der Seitentäler** mit ihren kleinen Zuflüssen (Leutra, Gemdenbach etc.). Infolge der groben Eingangsdaten, vor allem der Wasserbilanz (Auflösung: 250 m), eignet sich die Karte für **erste Aussagen** über die künftige Wasserversorgung der Vegetation; genauere Aussagen bedürfen eines detaillierten Ansatzes. Es kann jedoch konstatiert werden, dass künftig Grünflächen und Straßengrün mit Grundwasseranbindung (vor allem entlang der Saale und ihrer Tributäre) weniger stark von der zunehmenden Trockenheit betroffen sein werden als die Vegetation in den verdichteten Siedlungsbereichen (z. B. Zentrum, Jena-West und -Ost, Südviertel, Lobeda) und die Waldgebiete auf den Hochflächen. Je nach Anpassungsfähigkeit der vertretenen Arten sollten in letztgenannten Bereichen Anpassungsoptionen umgesetzt werden.



Wasserversorgung in der Vegetationsperiode im Stadtgebiet Jena

Aufgrund der projizierten klimatischen Veränderungen ist künftig auch mit einer Verschlechterung der Wasserversorgung der Vegetation zu rechnen. Pflanzen können ihren Wasserbedarf aus der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) decken und bei Grundwasseranbindung zusätzlich aus dem aufsteigenden Kapillarwasser. Die vorliegenden Daten zum Grundwasserflurabstand (langjähriger mittlerer Flurabstand in Metern) erlauben jedoch keine genauen Aussagen zum kapillaren Rückfluss. Daher zeigt vorliegende Karte die Summe aus der klimatischen Wasserbilanz der Vegetationsperioden I+II (April-September) für die Periode 2021-2050 des Szenarios A1B aus WettReg2006 (KWB-VP12) und der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes. Dies erlaubt erste Aussagen über die künftige Wasserversorgung der Vegetation. Gleichzeitig werden Bereiche dargestellt, in denen eine Grundwasseranbindung der Vegetation wahrscheinlich ist und das Wasserangebot insgesamt höher sein dürfte.

Daten: Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie (2000, 2006, 2008), Stadt Jena (2005, 2010). Erstellt im Februar 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (THINK) Jena im Rahmen des ExWöSt-Forschungsprojektes "Visione Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Instrumente" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. Veröffentlichungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.

Wasserversorgung (KWB-VP12 + nFKWe)

- schlecht (-200 - -25 mm)
- mäßig (-24 - 25 mm)
- gut (26 - 175 mm)
- Grundwasseranbindung wahrscheinlich



Abbildung 5.9: Wasserversorgung der Vegetation im Stadtgebiet Jena für die Periode 2021-2050



Abbildung 5.10: Erodirtes Material auf einer Straße im Ortsteil Kunitz nach einem Starkregenereignis am 11. Mai 2011 (Quelle: Stadt Jena)

5.1.4 Erosion

Verstärkung von Erosionserscheinungen

Der projizierte Klimawandel wird auch Auswirkungen auf wassergebundene Erosionsprozesse haben. Dies wird sich vor allem in der Landwirtschaft bemerkbar machen. Der Klimawandel wirkt sich auf zwei Arten auf die Bodenerosion aus. Zum einen verändert sich das Niederschlagsregime, zum anderen wichtige Bodeneigenschaften.

Während über die Zunahme der Häufigkeit von **Starkniederschlägen** unter den derzeitigen Klimaprojektionen für Thüringen noch Unsicherheit herrscht, ist eine Erhöhung der Intensität dieser Starkniederschläge wahrscheinlich (Kapitel 5.1.5). Damit einher gehen eine verstärkte linienhafte und flächenhafte Erosion.

Auch die markanteren Hitze- und Trockenperioden im Sommer wirken sich in der Landwirtschaft aus. Sie führen zu einer verringerten **Infiltrationskapazität** der Böden. Im Ergebnis kann das Wasser von (Stark-)Regenereignissen schlechter in den Boden eindringen, was intensiven Oberflächenabfluss mit Erosion verursacht.

Auswirkungen verstärkter Erosion

Die **Folgen der Erosion** sind der Verlust von Bodensubstanz inkl. Humus und Pflanzennährstoffen, Ertragseinbußen, der Eintrag von Bodenmaterial inkl. Nähr- und Schadstoffen in Gewässer und ggf. die Ablagerung von erodiertem Material auf Straßen und Wegen. Letzteres kann z. B. im Ortsteil Kunitz nach Starkregenereignissen häufiger beobachtet werden (Abbildung 5.10). Neben Bodenerosion müssen ggf. auch andere Formen von Massenbewegungen wie Felsabbrüche oder Hangrutschungen beachtet werden (Kapitel 5.1.6).

Betroffenheiten im Stadtgebiet

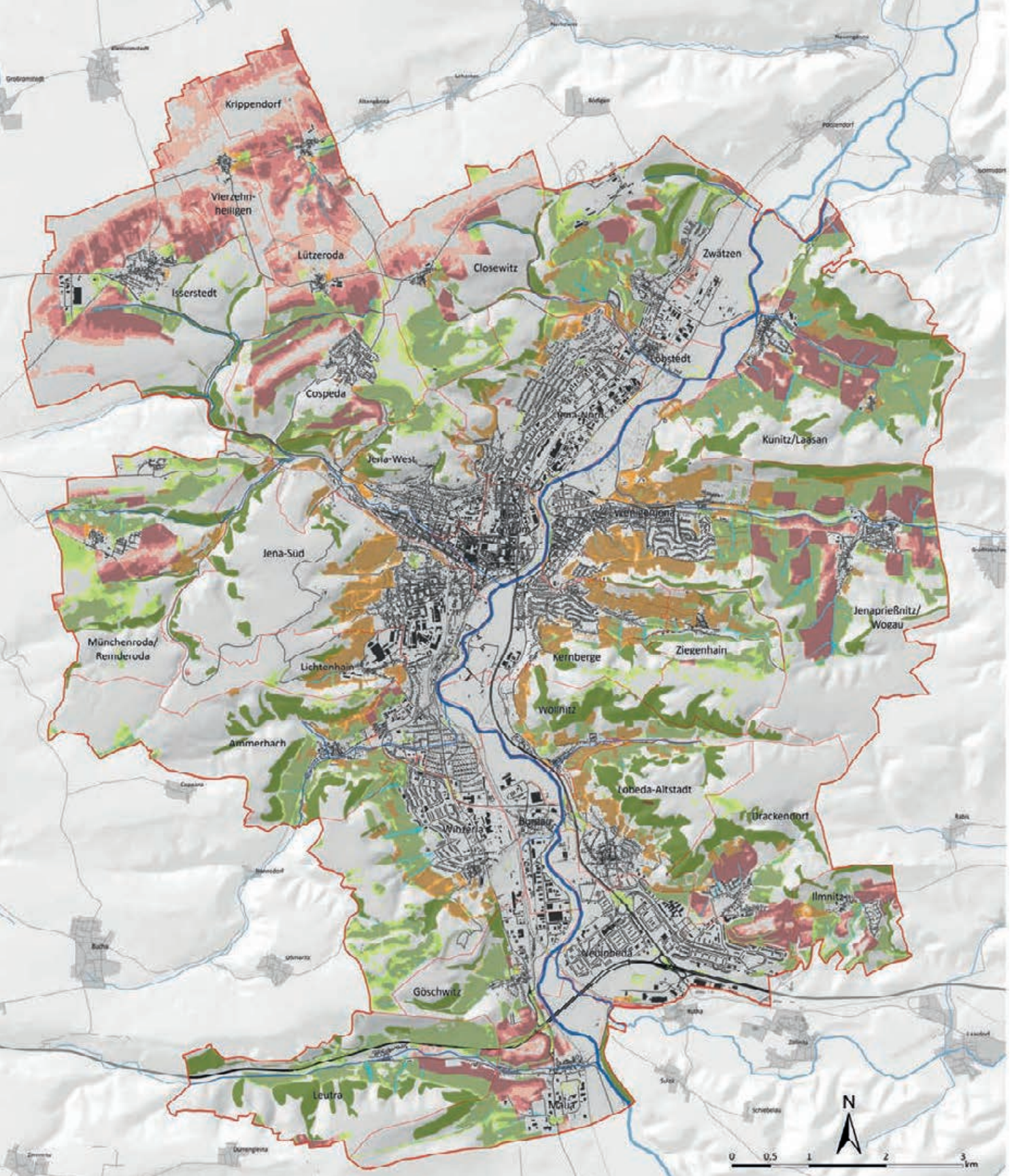
Etwa 2.200 ha des Stadtgebietes bestehen aus Ackerland. Die größten Flächen finden sich in den Ortsteilen Isserstedt, Krippendorf, Kunitz/Laasan, Vierzehnheiligen, Jenaprießnitz/Wogau, Münchenroda/Remderoda und Closewitz.

Abbildung 5.11 zeigt die **potenzielle Wassererosionsgefährdung** im Stadtgebiet. Die zugrundeliegenden Erosionsdaten wurden von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) zur Verfügung gestellt und basieren auf der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG), die auf alle landwirtschaftlichen Nutzflächen (Acker-, Grün- und Gartenland) angewandt wurde, die sich aus ATKIS-Daten (DLM/2006) und INVEKOS-Daten (2008) ergaben.

Bei der **Berechnung des Erosionspotenzials** wurden Bedeckungs- und Erosionsschutzfaktor nicht berücksichtigt. Somit ist die Nutzung bei der Interpretation einzubeziehen. Bei Ackerland gibt die Karte insofern Hinweise auf die reale Gefährdung, bei Grün- und Gartenland aufgrund der Bodenbedeckung nur auf die potenzielle Gefährdung durch Erosion. Aufgezeigt sind die Erosionsgefährdungsklassen „hoch“ (15 bis kleiner 30 t/(ha*a) Bodenabtrag), „sehr hoch“ (30 bis kleiner 55 t/(ha*a)) und „äußerst hoch“ (größer 55 t/(ha*a)); auf die Darstellung der Klassen „sehr gering“, „gering“ und „mittel“ wurde verzichtet.

Abgebildet sind auch **erosionsgefährdete Abflussbahnen** aus dem gleichen Datensatz der TLUG und **Waldflächen mit Bodenschutzfunktion** hinsichtlich z. B. Wasser- und Winderosion, die von der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF) zur Verfügung gestellt wurden.

Die Abbildung 5.11 zeigt, dass die Erosionsgefährdung vor allem Äcker auf den nordwestlichen Hochflächen der Saaleplatte (Ortsteile Isserstedt, Vierzehnheiligen, Krippendorf, Lützenroda, Closewitz, Cospeda), im Kessel des Hufeisens im Nordosten des Stadtgebietes (Kunitz/Laasan) und im Gembdental (Jenaprießnitz/Wogau) betrifft. Des Weiteren finden sich **erosionsgefährdete Ackerflächen** in den Ortsteilen Maua, Leutra, Ilmnitz, Drackendorf, Münchenroda/Remderoda und Zwätzen.



Potenzielle Erosionsgefährdung im Stadtgebiet Jena

Durch intensiver und wahrscheinlich auch häufiger werdende Starkregenereignisse kann der Bodenabtrag auf erosionsgefährdeten Flächen künftig höher werden. Die Karte zeigt die potenzielle Wassererosionsgefährdung auf Basis der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG): $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$. Dabei bedeuten A: langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag; R: Regen- und Oberflächenabflussfaktor; K: Bodenerodierbarkeitsfaktor; L: Hanglängenfaktor; S: Hangneigungsfaktor; C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor; P: Erosionsschutzfaktor. Bedeckungs- und Erosionsschutzfaktor wurden bei der Erosionsmodellierung nicht berücksichtigt, die Nutzung ist bei der Interpretation somit einzubeziehen. Bei Ackerland gibt die Karte insoweit Hinweise auf die reale Gefährdung, bei Grün- und Gartenland aufgrund der Bodenbedeckung nur auf die potenzielle Gefährdung durch Erosion. Aufgezeigt sind nur die Erosionsgefährdungsklassen "hoch", "sehr hoch" und "äußerst hoch"; auf die Darstellung der Klassen "sehr gering", "gering" und "mittel" wurde verzichtet. Abgebildet sind auch Waldflächen mit Bodenschutzfunktion hinsichtlich u.a. Wasser- und Winderosion sowie erosionsgefährdete Abflussbahnen.

Daten: Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie (2002, 2010), Stadt Jena (2005, 2010), Thüringer Landesamt für Wald, Jagd und Fischerei (2011). Die raumbezogenen forstlichen Daten für den Freistaat Thüringen wurden mit Genehmigung der Thüringer Landesforstverwaltung genutzt. Erstellt im Februar 2018 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeits- und Klimaschutz (TINAK) Jena im Rahmen des ExWoSt-Projekt "Urbane Strategien zum Klimawandel - Risikoprüfung, Strategien und Potentiale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vervielfältigen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.



Abbildung 5.11: Potenzielle Erosionsgefährdung im Stadtgebiet Jena



Abbildung 5.12: Überflutung einer der Hauptverkehrsstraßen von Jena durch ein Starkniederschlagsereignis am 5. Juli 1993 (Quelle: TLZ)

Aufgrund der guten Datenbasis kann die Aussagekraft der Karte für die heutige Erosionsgefährdung als hoch eingeschätzt werden. In Hinsicht auf die **künftige Erosionsgefährdung** ist davon auszugehen, dass die heute betroffenen Flächen ohne Erosionsschutzmaßnahmen auch künftig erosionsgefährdet sein werden, sich die Menge des Bodenabtrages jedoch aufgrund intensiverer und ggf. häufigerer Starkregenereignisse vergrößern wird.

5.1.5 Extremniederschläge

Extremereignisse

Am späten Nachmittag des 5. Juli 1993 kam es im Stadtgebiet von Jena zu **unwetterartigen Niederschlägen**. Innerhalb von nur zehn Minuten fielen 20 l/m^2 und in weiteren 50 Minuten nochmals 30 l/m^2 . In der Summe fielen an diesem Tag 66 l/m^2 an Niederschlag, was mehr war als der durchschnittlichen Niederschlag für den gesamten Monat Juli (50 l/m^2). Die Kanalisation war an mehreren Stellen im Stadtgebiet nicht in der Lage, die Wassermassen abzuführen. Erst ein Abpumpen durch die Feuerwehr konnte die Befahrbarkeit wieder herstellen (Abbildung 5.12). Auch kam es zu Unterspülungen des Straßenkörpers mit längerfristigen Schäden an der Verkehrsinfrastruktur.

Extreme Wetterereignisse zeichnen sich durch ein seltenes und unregelmäßiges Auftreten aus. Hitze- und Trockenperioden sowie Niederschlagsereignisse und Stürme können in extremer Ausprägung auftreten. Der Schwerpunkt dieses Kapitels liegt in der Behandlung von kurzen und intensiven Niederschlagsereignissen in Jena. Unwetterartige Starkniederschläge und Stürme sind meist mit kurz- und mittelfristigen Einschränkungen der Nutzbarkeit von städtischen Verkehrsinfrastrukturen verbunden. Hagel und umstürzende Bäume können zu Sach- und Personenschäden führen und beträchtliche Kosten verursachen. Die hohe Bedeutung von Extremereignissen im städtischen Raum erzeugt einen deutlichen Bedarf nach gesicherten

Erkenntnissen zur Veränderung der lokalen Intensität und Auftretswahrscheinlichkeit solcher Ereignisse.

Veränderung des Auftretens von Starkniederschlägen

Es muss angenommen werden, dass durch die physikalisch bedingte höhere Wasseraufnahmekapazität warmer Luftmassen das **Potenzial für Starkniederschlagsereignisse** hinsichtlich Intensität und Häufigkeit zukünftig ganzjährig verstärkt wird. Die regionalen Klimamodelle sind aber nicht in der Lage, Aussagen zur zukünftigen Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen zu treffen. Einerseits gelten Modellergebnisse zur zukünftigen Niederschlagsentwicklung als sehr unsicher, gravierender ist jedoch die zu geringe zeitliche Auflösung der regionalen Klimamodelle von einem Tag. Entscheidend für das Schadenspotenzial von Starkniederschlägen ist neben den lokalen Gegebenheiten in erster Linie die Intensität. Fällt eine hohe Niederschlagssumme verteilt über 24 Stunden ist dies unproblematisch; fällt die gleiche Niederschlagssumme in nur einer Stunde oder kürzer bedeutet dies ein deutlich höheres Schadenspotenzial.

Die wahrscheinliche Erhöhung der **Gefährdung durch Extremwetter-Ereignisse** muss auch hinsichtlich Schnee und Wind berücksichtigt werden. Da die aktuelle Kenntnislage aber noch nicht ausreicht, kann das Ausmaß der Zunahme winterlicher Schneeeignisse oder ganzjährig möglicher Starkwindereignisse nicht abgeschätzt werden.

Betroffenheiten im Stadtgebiet

Für das JenKAS-Projekt fand eine manuelle Übertragung von analogen **Regenschreiberdaten** von 1961 bis 2009 (Datenlücke: 1985 bis 1991) für die DWD-Station Jena-Schillergässchen in eine Datenbank durch Professor Gerhard Kluge (†) statt. Die Starkniederschlagsereignisse wurden nach ihrer Dauer in Minuten und Niederschlagsmenge in Millimeter erfasst. Die bestehende Datenlücke kann nicht wie

bei Tagessummen des Niederschlags durch Werte von benachbarten Stationen ausgeglichen werden, da insbesondere konvektive Starkniederschläge lokal sehr begrenzt auftreten. In diesem (räumlichen) Zusammenhang muss auch davon ausgegangen werden, dass nicht alle Starkniederschläge im Stadtgebiet von Jena an der DWD-Station Jena-Schillergässchen erfasst worden sind.

Die **Auswertung von Starkniederschlägen** ist komplex; Ereignisse mit unterschiedlicher Dauer und Niederschlagssumme müssen miteinander verglichen werden. Alle Starkniederschlagsereignisse mit einer Mindestdauer von zehn Minuten und einer Niederschlagssumme von mindestens zehn Millimetern wurden als relevant angesehen und analysiert. Dabei ergaben sich Jährlichkeiten zwischen 0,5 bis größer 100 Jahre in Bezug auf KOSTRA-DWD 2000. Die Wiederkehrzeit des Starkniederschlagsereignisses vom 5. Juli 1993 (Abbildung 5.12) mit einer Niederschlagshöhe von 20 mm in nur zehn Minuten liegt statistisch bei 50 Jahren. Am 18. Juli 1997 wurde mit einer Tagessumme von 110 mm ein neuer Niederschlagsrekord für die DWD-Station Jena-Schillergässchen gemessen. Auch wenn diese enorme Niederschlagssumme innerhalb von nur zwei Stunden fiel, sind keine Berichte etwaiger Schäden vorhanden. Die Wiederkehrzeit für solch eine hohe Niederschlagssumme in nur zwei Stunden entspricht laut KOSTRA-DWD 2000 mehr als 100 Jahre.

Eine Zunahme der **Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen** pro Jahr von 1961 bis 2009 konnte anhand von statistischen Analysen nicht festgestellt werden. Auch konnte keine Zunahme in der **Intensität und Niederschlagssumme** pro Ereignis ermittelt werden. Im Rahmen des JenKAS-Projektes wurden alle Ereignisse mit der Großwetterlage am Tag des Auftretens korreliert, um eine Beziehung zu bestimmten Wetterlagen herstellen zu können. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass es keinen statistischen Zusammenhang bestimmter **Wetterlagen** mit dem Auftreten von Starkniederschlagsereignissen in Jena gibt. Die Häufigkeitsverteilung entspricht der normalen Auftrittswahrscheinlichkeit von Großwetterlagen, insbesondere im Som-

mer. Daneben wurde untersucht, ob die Intensität eines Starkniederschlags in **Beziehung zu der Höchsttemperatur** des jeweiligen Tages steht. Auch hier konnte kein statistischer Zusammenhang festgestellt werden und die These über zukünftig höhere Intensitäten durch erhöhte Temperaturen nicht belegt werden. Wie bereits konstatiert, konnte kein Trend der Zunahme der Häufigkeit und/oder der Intensität in den Daten zwischen 1961 und 2009 nachgewiesen werden.

Eine weitere Annahme über die zukünftige Auswirkung von Starkniederschlägen ist die Zunahme der **Abflussmengen der Starkniederschläge** auf unversiegelten Flächen im Stadtgebiet Jena, da wahrscheinlich in zunehmendem Maße solche Starkniederschläge auf durch Hitzeperioden ausgetrockneten Böden fallen und damit deutlich mehr Wasser oberflächlich abfließt als versickert.

5.1.6 Massenbewegungen

Charakteristika von Massenbewegungen

Massenbewegungen sind im Stadtgebiet von Jena sowie auch in anderen Bereichen des Mittleren Saaletals mit entsprechenden geologischen und geomorphologischen Voraussetzungen ein verbreitetes Phänomen. Die **Ursache** hierfür ist der lithologisch-strukturelle Aufbau der Gesteine im Bereich der Wellenkalk-Schichtstufe. Während die klüftigen Gesteine des Unteren Muschelkalks (Wellenkalk) für Wasser sehr durchlässig sind, wirken die darunter liegenden tonreichen Schichten des Oberen Buntsandsteins (Röt) als Wasserstauer. An dieser Schichtgrenze kommt es durch die Auflast des Wellenkalks und die feuchtigkeitsbedingt herabgesetzte Kohäsion der tonigen Schichten des Röts zu einer Verminderung des Scherwiderstandes und damit zu Massenverlagerungen.

Massenverlagerungen können hinsichtlich ihrer Dynamik in **verschiedene Typen** eingeteilt werden (Sturz-, Kipp-, Gleit-, Drift-, Kriech- und Fließbewegungen und deren Kombinationen). Im Be-



Abbildung 5.13: Schäden durch den Orkan Emma in der Jahnstraße, Jena 2008 (Quelle: Mustafa)

reich des Thüringer Beckens und seiner Randgebiete sind Gleit- und Driftbewegungen (z. B. Diebeskrippe im Pennickental) besonders häufig (Beyer 2002a). Auch Sturzbewegungen treten auf, allerdings in geringerem Umfang.

Das Auftreten und die Erscheinung von Massenbewegungen sind durch eine Vielzahl von **Faktoren** bestimmt, wobei meist mehrere Faktoren gleichzeitig wirken und sich gegenseitig beeinflussen können (Krauter 1994). Zu nennen sind hier:

- *Morphologie: Höhe, Neigung, Form*
- *Geologie: Gestein, Lagerung, Tektonik*
- *Hydrogeologie: Wasserwegsamkeit, Grundwasserstand*
- *Klima: Niederschlag, Temperatur*
- *Biologie: Vegetation*
- *Zeit*

Betroffenheiten im Stadtgebiet

Einen Überblick über **Bereiche um Jena**, in denen Massenbewegungen auftreten, gibt Plasse (1923), allerdings ohne genaue kartographische Verortung. Genannt werden hier Vorkommen am Johannisberg, an beiden Talflanken des Pennickentals, an den Kernbergen, am Hausberg sowie am Jenzig. Westlich der Saale treten Massenbewegungen an der Wellenkalk-Schichtstufe ebenfalls auf, allerdings in geringerem Umfang.

Die **Ursache** dieser Massenbewegungen ist vor allem das verbreitete Einfallen der Schichten nach Nordwest in Richtung des Zentrums des Thüringer Beckens. Auch lokale geologische Strukturen haben einen Einfluss auf das Auftreten von Massenverlagerungen wie beispielsweise der Hausbergsattel und die Störungszone Lichtenhain-Coppanz.

Aussagen zum **Gefährdungspotenzial** von Massenbewegungen im Stadtgebiet von Jena finden sich in einer unveröffentlichten Studienarbeit des Geographischen Instituts der Universität Jena (Ostrowski 2006). Demnach gibt es potenziell gefährdete Gebiete vor allem

an den steilen südwestexponierten Hängen der Kernberge und des Johannisbergs.

Einfluss von Niederschlägen

In Studien wurde ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von Massenbewegungen und den **Niederschlagsmengen** gefunden (z. B. Johnsen (1981). Damm (2005) zeigte, dass es vor allem in niederschlagsreichen Wintern zu entsprechenden Ereignissen kommt. In einer Untersuchung an 744 Massenverlagerungsgebieten im Thüringer Becken fand Beyer (2002b), dass die jährliche Niederschlagsmenge die maßgebliche Steuerungsgröße für Massenverlagerungen ist und mit weiteren begünstigenden Faktoren in Wechselwirkung steht. Es zeigte sich, dass eine kontinuierliche Durchfeuchtung der Schichtgrenze Muschelkalk/Röt das Auftreten von Massenverlagerungen fördert.

Ähnliches kann für das Auftreten von **Erdfällen** konstatiert werden. Die Ursache solcher Phänomene ist in Auslaugungserscheinungen salz- oder gipshaltiger Schichten im Untergrund zu suchen. Werden die Gesteinsschichten durch Grundwasser oder versickernde Niederschlags- und Schmelzwässer gelöst und abgeführt kommt es zu Instabilitäten und letztlich zu einem Einsturz der Decke über dem unterirdischen Hohlraum. In feuchten Jahren (z. B. in Form von mehr Regen und Schnee) ist daher mit mehr Erdfällen als in trockeneren Jahren zu rechnen. Im Stadtgebiet existieren größere Areale, die ein Risiko in Bezug auf Erdfälle und -einsenkungen aufweisen, besonders im Oberen Buntsandstein und Oberen Muschelkalk (TLUG 2005). Jedoch ist es bereits unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen nicht möglich, innerhalb der betroffenen Gebiete genaue räumliche Vorhersagen über das Auftreten von Erdfällen zu treffen.

Veränderung des Auftretens von Massenbewegungen

Diese Befunde werfen die Frage auf, ob es durch den Klimawandel möglicherweise auch zu häufigeren Niederschlägen und damit auch zu einem häufigeren Auftreten von Massenbewegungen an den Flanken der Jenaer Berge kommt. Während der Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Folge der Emissionen von Treibhausgasen aus anthropogenen Quellen inzwischen wissenschaftlicher Konsens ist, sind Aussagen zur künftigen regionalen **Entwicklung von Niederschlägen** noch mit großen Unsicherheiten behaftet. In globalen Klimasimulationen konnte zwar ein Zusammenhang zwischen steigenden Temperaturen und dem häufigerem Auftreten von extremen Niederschlagsereignissen in einigen Regionen gefunden werden (Min et al. 2011, Pall et al. 2011), die Muster dieser Veränderungen sind regional jedoch sehr verschieden und bisher nur schwer zu projizieren. Aus diesen saisonalen Niederschlagsmustern lassen sich allerdings keine Aussagen zum Auftreten von Starkregenereignissen ableiten.

Auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes muss daher eingeschätzt werden, dass belastbare **Aussagen über Veränderungen** der Häufigkeit des Auftretens von Massenverlagerungen in Folge des anthropogenen Klimawandels in Jena zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht getroffen werden können. Die Gründe hierfür sind vor allem die zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch wenig belastbaren Projektionen der zukünftigen Entwicklung der Niederschlagsmengen. Dennoch sind die beschriebenen Verlagerungsprozesse natürliche Vorgänge, die aufgrund der geologischen und geomorphologischen Bedingungen um Jena in unterschiedlichem Ausmaß (Abgang von einzelnen Steinen bis hin zum Kippen ganzer Mauerschollen) auch ohne den Einfluss des anthropogenen Klimawandels besonders im Zusammenhang mit großen Niederschlagsmengen immer wieder auftreten können. Dieser Umstand muss bei der Planung von Bebauung in den Hangbereichen in Jena jederzeit beachtet werden.

5.1.7 Hohe Betroffenheiten im Stadtgebiet

Wechselwirkungen von Betroffenheiten

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Auswirkungen einzelner Klimawirkfolgen betrachtet. In der Realität treten diese jedoch nicht getrennt auf. Hier kann es zu einer **räumlichen und/oder zeitlichen Überlagerung** und gegenseitigen Beeinflussung der Klimawirkfolgen kommen, z. B. Hitze- und Trockenperioden oder Starkregenereignisse und Hochwässer. Aus diesem Grund ist es wichtig, alle Betroffenheiten und ihre räumliche Verteilung im Stadtgebiet zusammenfassend

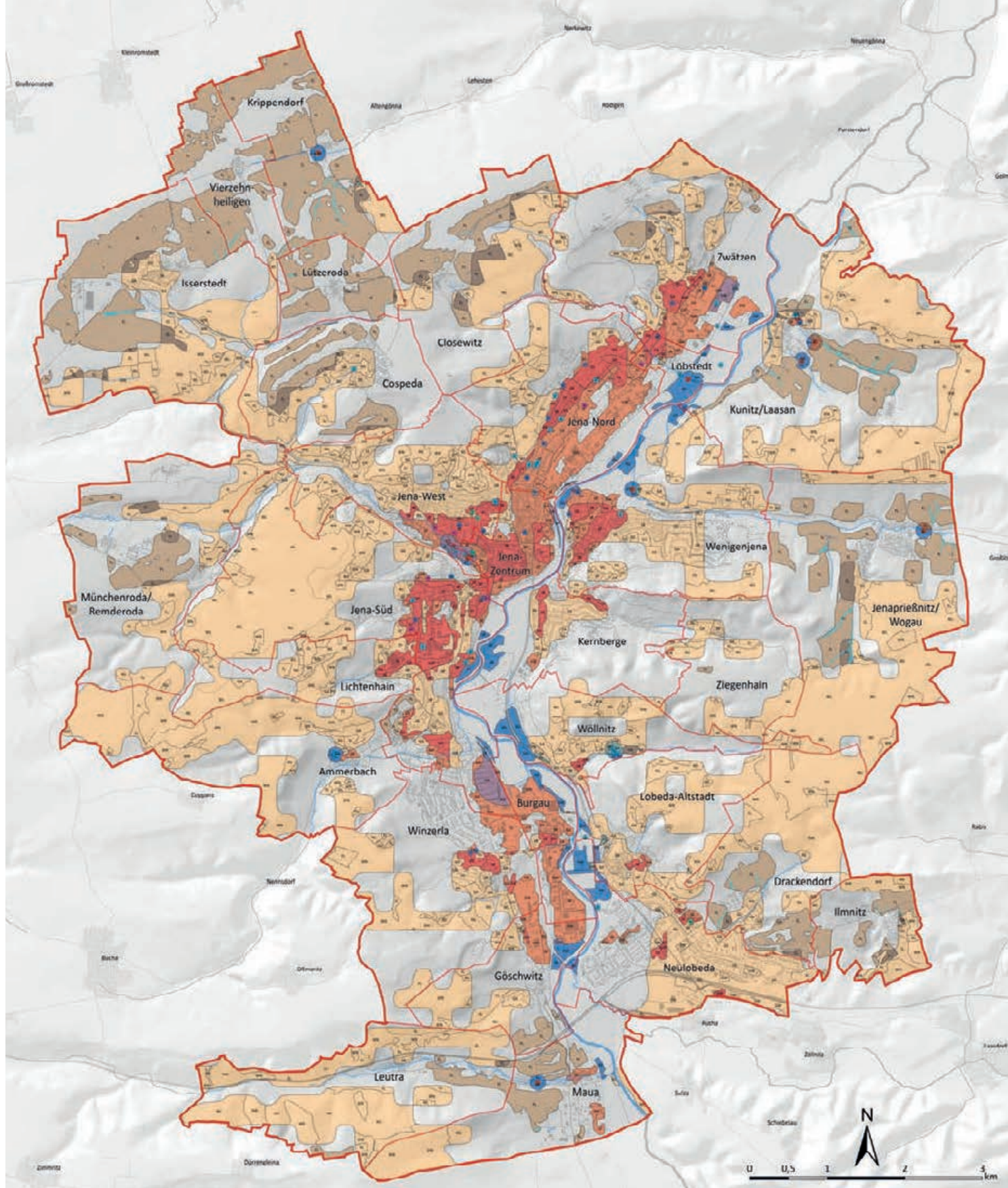
zu betrachten. Dabei wird deutlich, dass der projizierte Klimawandel in Jena keine grundsätzlich neuen Probleme verursacht, jedoch bestehende Problemlagen weiter verschärft.

In Abbildung 5.14 sind für die vier Klimawirkfolgen Überwärmung, Trockenheit, Hochwasser und Erosion die Bereiche zusammengefasst, in denen bereits heute Probleme bzgl. der jeweiligen Klimawirkfolge bestehen und für die eine weitere Verstärkung künftig wahrscheinlich ist. Dabei existieren Bereiche, in denen sich Auswirkungen zeitlich und/oder räumlich überschneiden und die damit besonders klimaanfällig sind. Bereiche, die nur mittlere bis geringe Betroffenheiten hinsichtlich der betrachteten Klimawirkfolgen aufweisen, wurden bewusst nicht dargestellt. Dies geschah zum einen der Übersichtlichkeit halber. Andererseits sollen begrenzte Finanzmittel für Anpassungsmaßnahmen zuerst in Stadtbereiche fließen, die besonders betroffen sind, was eine räumliche Priorisierung notwendig macht. Als besonders betroffene Bereiche wurden aus den Einzelkarten in die **Risiko-Konflikt-Karte** übernommen:

- **Wärmebelastung:** *höchste der drei Klassen der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen für die Periode 1971–2000 aus den Modellierungen des DWD mit MUKLIMO_3; dies entspricht Flächen im Stadtgebiet mit 42 und mehr Sommertagen im langjährigen Durchschnitt;*
- **Trockenheit:** *Bereiche, in denen die Wasserversorgung der Vegetation (Klimatische Wasserbilanz der Vegetationsperioden I und II für die Periode 2021-2050 (Szenario A1B) plus nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) voraussichtlich geringer als -25 mm sein wird und die wahrscheinlich keine Grundwasseranbindung besitzen;*
- **Hochwasser:** *Flächen von Klimatopen mit Nutzungen mit möglichen menschlichen und/oder materiellen Schäden (Wohngebiete, Industrie, Gewerbe, Kleingärten) die sich im Bereich des Überschwemmungsgebietes für ein HQ_{100} der Saale oder im Umkreis von 100m um bekannte Problempunkte an den Gewässern 2. Ordnung befinden;*
- **Erosion:** *Ackerflächen mit Erosionsgefährdungsklasse „hoch“, „sehr hoch“ oder „äußerst hoch“; dies entspricht Flächen mit einem jährlichen Bodenabtrag von 15 t/ha und mehr.*

Bereiche hoher Betroffenheiten in Jena

Die Verteilung der hohen Betroffenheiten in Jena ergibt ein für urbane Räume typisches Bild. **Wärmebelastung** findet sich vor allem in den verdichteten bzw. stark versiegelten Stadtbereichen (Jena-Zentrum, Jena-Nord, Jena-West, Jena-Süd, Burgau) (Abbildung 5.14). Gleichzeitig gibt es hier Überschneidungen mit Bereichen, in denen



Risiko-Konflikt-Karte: Betroffenheiten im Stadtgebiet Jena

Durch den projizierten Klimawandel werden sich bestehende Problemfelder weiter verschärfen. In vorliegender Karte sind für die vier Klimawirkfolgen Wärmebelastung, Trockenheit, Hochwasser und Erosion die Bereiche dargestellt, in denen bereits Probleme hinsichtlich der jeweiligen Klimawirkfolge bestehen und für die eine weitere Verstärkung künftig wahrscheinlich ist. Dabei existieren auch Bereiche in denen sich Auswirkungen zeitlich und/oder räumlich überschneiden und die damit besonders klimaanfällig sind. Dargestellt sind zudem die klimaanfälligen Raum- und Punktstrukturen im Stadtgebiet, die von den Klimawirkfolgen vermehrt betroffen sind (erstere auf Basis der Klimatopos: BA - Bahnanlage, FL - Freiland, GA - Gartenstadt, GW - Gewerbe, GS - Großsiedlung, GU - Grünanlage, IU - Industrie, KG - Kleingarten, ST - Stadt, SK - Stadtkern, SK - Stadtrand, WL - Wald (Laub), WN - Wald (Nadel), WX - Wald (unbekannt)). Vorliegende Karte hat Übersichtscharakter und zeigt idealisierte Grenzen klimatischer Sachverhalte mit möglichen Abweichungen zur Realität. Für tiefergehende Aussagen ist eine Detailuntersuchung angeraten.

Quellen: Stadt Jena (2006, 2010, 2011), Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2000, 2003, 2004, 2006, 2010), Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (2011), Deutscher Wetterdienst (2012). Erstellt im April 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (Think) Jena im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel - Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Verantwortungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.



Hohe Betroffenheit durch Klimawirkfolgen

- Wärmebelastung
- Trockenheit
- Hochwasser
- Wassererosion
- Wärmebelastung und Trockenheit
- Wassererosion und Trockenheit
- Wassererosion und Hochwasser
- Wärmebelastung und Hochwasser
- Trockenheit und Hochwasser
- Keine hohe Betroffenheit (Relief)

Klimaanfällige Raumstrukturen

- Klimatopos (Fräktisierung siehe Text)
- Erosionsgefährdete Abflussbahn

Klimaanfällige Punktstrukturen

- Wärmebelastung
- Kindertagesstätte
- Seniorenbetreuung
- Universitätsklinik
- Überschwemmung
- HW-Schwerpunkt (II. Ordnung)
- Feuerwehreinsatz (Hochwasser)
- Feuerwehreinsatz (Kanalisation)

Abbildung 5.14: Risiko-Konflikt-Karte – hohe Betroffenheiten im Stadtgebiet Jena

das städtische Grün von einem Defizit an verfügbarem Wasser in der Vegetationsperiode geprägt ist, z. B. in Jena-Süd, Jena-Zentrum und Jena-West.

Zunehmende **Trockenheit** in der Vegetationsperiode wird künftig auch viele Bestände im Stadtgebiet betreffen. Neben Grünanlagen und Straßenbegleitgrün etc. (z. B. Jena-West, Wenigenjena, Neulobeda) ist dies vor allem auf den Wald- bzw. Forstflächen im Stadtgebiet sehr wahrscheinlich (Jena-Süd, Leutra, Drackendorf, Ammerbach, Jenaprießnitz/Wogau). Ackerflächen sind nur in geringem Maße davon betroffen, da sich der Großteil von ihnen im Bereich gut mit Wasser versorgter Böden auf den Hochflächen im Nordwesten des Stadtgebietes befindet.

Anders sieht es bei der heutigen und künftigen **Erosionsgefährdung** aus. Hier sind es genau jene Bereiche auf den nordwestlichen Hochflächen, die besonders betroffen sind, zudem Ackerflächen in Kunitz/Laasan, Jenaprießnitz/Wogau, Leutra, Maua und Drackendorf (Abbildung 5.14).

Von **Hochwasser** betroffen sind zum einen Nutzungen im Überschwemmungsgebiet (HQ₁₀₀) der Saale wie Kleingärten, Gewerbeflächen, aber auch Wohnnutzungen (Burgau, Wöllnitz). Andererseits finden sich an verschiedenen Gewässern 2. Ordnung (Leutra, Gembdenbach) Problemstellen, an denen (Stark-)Regenereignisse kurzfristig zu Hochwassersituationen führen können. Derartige Ereignisse sind auch meist Ursache für **Überschwemmungen** an Kanaleinläufen und Straßensenken (z. B. in der Dornburger und Leipziger Straße).

In der Karte sind zudem die **klimaanfälligen Raum- und Punktstrukturen** im Stadtgebiet dargestellt, die von den Klimawirkfolgen verstärkt betroffen sind. Dies sind zum einen Raumstrukturen auf Basis der abgeleiteten Klimatope als auch erosionsgefährdete Abflussbahnen, zum anderen Einrichtungen mit für Wärmebelastung besonders sensiblen Personengruppen (Senioren, Kinder, Kranke) und besondere Problempunkte im Hinblick auf Überschwemmungen. Bei der Analyse der Flächen hoher Betroffenheit durch Klimawirkfolgen ergab sich z. B. für Wärmebelastung und Trockenheit folgendes Bild:

- **Wärmebelastung:** *die Klimatoptypen „Stadt“ und „Stadtkern“ zeigen hohe Anteile hoch betroffener Flächen, die Klimatoptypen „Industrie“ und „Gewerbe“ mittlere Anteile;*
- **Trockenheit** (in der Vegetationsperiode): *die Klimatoptypen „Stadtkern“ und „Wald“ zeigen hohe Anteile hoch betroffener Flächen, die Klimatoptypen „Stadt“, „Stadttrand“, „Industrie“ und „Großsiedlung“ mittlere Anteile.*

5.2 AUSWIRKUNGEN IN DEN HANDLUNGSFELDERN

5.2.1 Siedlungsentwicklung und Bauwesen

Wärmebelastung

Durch die Zunahme der sommerlichen Hitzeperioden wird sich die Wärmebelastung, insbesondere in verdichteten, stark versiegelten und nur wenig durchgrüntem Stadtgebieten (z. B. Stadtzentrum, Campusgelände von Universität und FH, Gewerbegebiet Göschwitz), intensivieren (Abbildung 5.3, Kapitel 5.1.1). Einerseits muss daher mit einer Zunahme **gesundheitlicher Beeinträchtigungen** und einer verminderten Leistungsfähigkeit der Bevölkerung gerechnet werden. Andererseits verstärkt sich die **mechanisch-technische Belastung** von Gebäuden und infrastrukturellen Einrichtungen, woraus sich ein zunehmender Planungsaufwand bei Neubau (Ort, Stellung, Materialien, klimaangepasste Ausführung) und ein erhöhter Instandhaltungsaufwand bei bestehenden Anlagen ergibt (BMVBS/BBSR 2009). Auch der Einsatz von Klimaanlagen in Gebäuden wird sich verstärken, was im Sinne des Klimaschutzes durch vorbeugende Objekt- und Stadtplanung vermieden werden sollte (Kuttler 2011a). Mit einer zunehmenden Wärmebelastung erhöht sich auch der Bedarf an Kalt- bzw. Frischluftentstehungsgebieten und Naherholungsräumen für die Bevölkerung, was zu einer Verstärkung von Interessenskonflikten führen kann (SSB 2009).

Trockenheit

Durch die mit den zunehmenden Hitzeperioden verbundene Trockenheit kann die **pflanzliche Wasserversorgung** in der Vegetationsperiode gefährdet sein. Werden die Pflanzen nicht ausreichend mit Wasser versorgt, leiden sie unter Trockenstress: Mit Wachstums- bzw. Produktivitätseinbußen, Welkeerscheinungen und Schädlingsbefall beim Jenaer Stadtgrün muss somit vermehrt gerechnet werden (Abbildung 5.9, Kapitel 5.1.3).

Hochwasser

Hochwässer und Überschwemmungen nach **Starkniederschlägen** bergen ein hohes Schadpotential für den Siedlungskörper und die Stadtentwässerung (Abbildung 5.7). Das gilt insbesondere für Gebiete mit hohem Versiegelungsgrad (z. B. Uni-Campus, Gewerbegebiete, Straßenkreuzungen). Niederschläge können nicht in den Boden infiltrieren, fließen oberflächlich ab und können sich im schlimmsten Fall zu Sturzfluten entwickeln (Kuttler 2011a).

Die klimatischen Veränderungen im Zuge des Klimawandels führen zu größeren Schwankungen des **Grundwasserspiegels**, wodurch verstärkt Schäden an der Bausubstanz entstehen können (BMVBS/BBSR 2009).



Gut angepasst an trockenere Bedingungen: Orchideen auf (Halb-) Trockenrasen (Quelle: Lerm 2008)

5.2.2 Natur- und Umweltschutz

Trockenheit und steigende Temperaturen

Für die für Jena charakteristischen Trocken- und Halbtrockenrasen mit ihren bedeutenden Orchideenstandorten hat eine Erhöhung der **Jahresmitteltemperatur** eher positive Auswirkungen (Kapitel 5.1.3). Bei Wald- und öffentlichen Grünflächen muss jedoch mit zunehmendem **Trockenstress** (Abbildung 5.9) und bei ersteren zusätzlich mit einer erhöhten Waldbrandgefahr gerechnet werden. Für diese Ökosysteme erhöhen sich sukzessive Pflegebedarf und Kontrollaufwand. Eine zunehmende Wärmebelastung der Bevölkerung wird sich auch in einem erhöhten Nutzungsdruck auf Wald- und Grünflächen, wie den Seidelpark/Oberaue oder den Friedensberg äußern. Damit verstärken sich die Anforderungen an bestehende Biotop-schutzkonzepte (BMVBS/BBSR 2009).

Ökologische Veränderungen

Anhaltende Hitze- und Trockenperioden erhöhen das Risiko der Sauerstoffverarmung und somit auch der **Eutrophierung** von Oberflächengewässern im Stadtgebiet. Außerdem steigt die Gefahr der **Austrocknung** von wertvollen Biotopen, wie Tümpeln und kleineren Feuchtgebieten.

Die in Zukunft deutlich geringer ausfallenden winterlichen Fröste lassen einen vermehrten **Schädlingsbefall** erwarten, was durch zunehmenden Hitze- und Trockenstress für die Pflanzen noch begünstigt wird. Generell ist zu erwarten, dass auch heimische Arten (z. B. Türkenbund-Lilie, *Lilium martagon*), durch die sich verändernden klimatischen Bedingungen in ihrer Abundanz geschwächt werden. Diese Tendenz wird dadurch verstärkt, dass nicht heimische, aber wärmeliebende Arten (Neobiota) sich sukzessive im Jenaer Raum etablieren können und dadurch den **Konkurrenzdruck** auf die heimischen Arten erhöhen. In der Summe ist mit einer deutlichen Verringerung der Biodiversität zu rechnen (BMVBS/BBSR 2009). Auch die

Forcierung der Bioenergieproduktion kann einen Verlust an Struktur und Artenvielfalt bedeuten und somit eine Minderung der ökologischen Ausgleichsfunktionen nach sich ziehen (SSB 2009).

Erosion

Die sich vermutlich intensivierenden sommerlichen **Starkniederschläge** werden vermehrt auf ausgetrocknete Böden fallen, wodurch zunächst nur geringe Niederschlagsmengen in den Bodenkörper infiltrieren können. In der Folge muss mit einer Zunahme von flächenhaften und linienhaften Erosionserscheinungen (Abbildung 5.11), d. h. Abtrag von Bodensubstanz inkl. Humus und Pflanzennährstoffen sowie Einträge von Bodensubstanz inkl. Dünger- und Schutzmitteln in Gewässer gerechnet werden (Kapitel 5.1.4).

5.2.3 Wasserwirtschaft und -haushalt

Veränderung der klimatischen Wasserbilanz

Der Klimawandel stellt eine erhebliche Herausforderung für das zukünftige Wassermanagement dar. Unsicherheiten der zukünftigen Niederschlagsentwicklung lassen Einschränkungen oder Einbußen der Wasserversorgung und Wasserentsorgung nur schwer vorhersagen (Kapitel 4.2). Bei höheren Temperaturen im Sommer steigt der Wasserbedarf für öffentliche Grünflächen und private Gärten. In Verbindung mit steigender Verdunstung sinkt die Verfügbarkeit von **Brauchwasser** aus Oberflächengewässern (z. B. Saale). Hingegen beruht die **Trinkwasserversorgung** von Jena weitgehend auf tiefem Grundwasser und auf Wasser der Thüringer Fernwasserversorgung, welche auch unter veränderten klimatischen Bedingungen weitgehend unbeeinträchtigt bleiben dürfte.

Insbesondere für Oberflächengewässer können sich vielfältige negative Konsequenzen aus sich verringernden Zuflüssen ergeben. In Kombination mit erhöhten Wassertemperaturen ist von einer Verschlechterung der **Wasserqualität** (Verringerung des Sauerstoffgehaltes, vermehrtes

Planktonaufkommen, Entwicklung von Krankheitserregern) auszugehen (BMVBS/BBSR 2009).

Stadtentwässerung

Eine erhebliche Umweltbelastung können Vorfluter bei einer Zunahme von Starkniederschlägen erfahren. In Gebieten mit **Mischkanalisation** kommt es heute schon teilweise zu einer Notentwässerung direkt in den Vorfluter. Die Kapazitäten von Klärwerken werden bei Starkniederschlägen teilweise überschritten (SSB 2011). Besser angepasst an häufigere und intensivere Starkniederschläge ist die **Trennkanalisation** aufgrund integrierter Regenwasserpuffer bzw. Regenwasserrückhaltevorrückungen. Durch die verzögerte Abgabe von Regenwasser an die Fließgewässer wird gleichzeitig die Wasserqualität der Vorfluter im Sommer erhöht. Auch eignet sich diese Form der Speicherung von Regenwasser als Brauchwasserquelle für einen steigenden Bedarf bei der Bewässerung im Sommer. In Jena besteht etwa die Hälfte der Kanalisation aus Mischkanalisation, die andere Hälfte aus Trennkanalisation. Erstere ist hauptsächlich in älteren Stadtgebieten zu finden (z. B. Stadtzentrum, Wenigenjena, Jena-West), letztere in Bereichen, die ab etwa 1960 bebaut wurden (u. a. Neulobeda, Winzerla, Erweiterungssiedlungen seit 1990).

Hochwasser

Ob im Zuge des Klimawandels eine Zunahme der Gefährdung der Gewässer erster Ordnung (**Saale**) durch Hochwasserereignisse für Jena zu erwarten ist, kann anhand vorhandener Daten nicht zweifelsfrei geklärt werden. Für **Gewässer 2. Ordnung** (z. B. Leutra, Roda) kann eine Zunahme der Hochwassergefährdung aufgrund des künftig höheren Potenzials für Starkregenereignisse angenommen werden (Kapitel 5.1.2).

5.2.4 Land- und Forstwirtschaft

Anpassungserfahrung

Der Klimawandel hat bereits bedeutende Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft. Kaum ein anderes Handlungsfeld ist so direkt von den klimatischen Bedingungen abhängig. Wiederum besitzt insbesondere die Landwirtschaft ein hohes Maß an **Anpassungsfähigkeit** und Erfahrung im Umgang mit klimabedingten Veränderungen. Land- und Forstwirtschaft haben den Klimawandel stets auch als Chance gesehen und werden durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt. Durch die Auswahl von angepassten Sorten und veränderten Anbaumethoden besitzen beide Sektoren Instrumente, sich an neue klimatische Bedingungen anzupassen.

Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Die verschlechterte klimatische Wasserbilanz führt zu einer teilweise deutlichen Verringerung der **Wasserversorgung** der Pflanzen in der Vegetationsperiode (Kapitel 4.2 und 5.1.3), nur Standorte in der Saaleaue mit Grundwasseranbindung dürften auch zukünftig unbeeinträchtigt bleiben (Abbildung 5.9). Gleichzeitig steigt aber das Risiko von **Bodenerosion** durch die seltenen, aber heftigeren Starkniederschläge, die zunehmend auf ausgetrocknete Böden fallen und damit intensiven Oberflächenabfluss mit Erosion verursachen. Ein zunehmendes Risiko ist für die Landwirtschaft auch in besseren klimatischen Bedingungen für **Schädlinge** zu sehen. Seltener und weniger intensive winterliche Fröste verbessern die Überdauerungsbedingungen für Schadinsekten. In Zusammenhang mit einem vermehrten Hitze- und Trockenstress für die angebauten Nutzpflanzen muss daher mit einer Zunahme von Schädlingsbefall gerechnet werden (BMVBS/BBSR 2009).

Als Chancen zu werten sind die verlängerte Vegetationsperiode und die Verbesserung der Anbaubedingungen für **Sonderkulturen**. In Jena ist dies der Weinbau an verschiedenen sonnigen Hängen des Saaletals. Beides kann sich in positiven **wirtschaftlichen Effekten** niederschlagen.

Folgen für die Forstwirtschaft

In den forstlichen Beständen werden sich vor allem die stärkeren sommerlichen Hitzeperioden negativ auswirken. Hierdurch werden insbesondere die Fichtenbestände wie z. B. südlich von Münchendorf, aber auch andere Forstbestände durch **Wassermangel** geschwächt (Abbildung 5.9). Gleichzeitig wirkt sich der höhere **Schädlingsbesatz** durch den geringeren winterlichen Frost verschärfend aus. Tritt im Winter seltener Frost auf, führt dies bei winterlichen Stürmen zu erhöhter **Bruchgefahr**, da die Wurzeln im aufgeweichten Boden weniger Halt als im gefrorenen Boden finden. Daneben bewirkt die Verringerung der Frostintensität und -häufigkeit eine Einschränkung der Arbeit mit schwerer Forsttechnik. So muss die Planung von Pflegemaßnahmen zeitlich neu geregelt werden. Ebenso ist eine leichtere Technik mit geringerem Bodendruck erforderlich. Die **Waldbrandgefahr** kann sich durch die stärkeren Hitzeperioden, verbunden mit zunehmendem Wassermangel, im Sommer deutlich erhöhen (Kuttler 2011a). Mit **Produktionseinbußen** infolge erhöhter Krankheitsanfälligkeit und zusätzlichem klimatischen Stress ist in erster Linie in Forstbeständen mit Baumarten, die eine geringere ökologische Toleranz gegenüber wärmeren und trockeneren Bedingungen besitzen (z. B. Fichten), zu rechnen (SSB 2011). Eine Chance ist auch hier in der verlängerten Vegetationsperiode zu sehen, durch die stärkere photosynthetische Aktivität der Pflan-



*Der Klimawandel begünstigt den Anbau von Sonderkulturen:
Weinberg im Ortsteil Kunitz/Laasan (Quelle: Lerm 2010)*

zen aufgrund höherer CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre, zu einem stärkeren Holzzuwachs und damit zu positiven **wirtschaftlichen Effekten** für die Forstwirtschaft führen kann.

5.2.5 Verkehr und Infrastruktur

Klimatische Auswirkungen

Die winterliche **Erwärmung** führt zu einer Abnahme der Anzahl von Frost-, Eis- und Schneetagen, und damit im Mittel zu geringeren Beeinträchtigungen und Schädigungen von technischer- und Verkehrsinfrastruktur durch Schnee und Eis. Die Notwendigkeit der Schneeräumung und Eisbeseitigung wird in den Städten rückläufig sein, jedoch sind weiterhin schneereiche Witterungslagen möglich (Kuttler 2011b). Allerdings kann die wahrscheinliche Verstärkung von extremen Wetterereignissen auch im Winter zu heftigen Schnee- und Eis-Wetterlagen, also starken Schneefällen, Hagelniederschlägen, Eisregen und ähnlichem führen. Obwohl die Winter im Durchschnitt deutlich wärmer werden, kann es vereinzelt weiterhin zu Kälteperioden und ergiebigen Schneefällen kommen.

Technische Infrastruktur

In den Sommermonaten treten vermehrt Hitzeperioden mit längerer Trockenheit auf. Die **Hitzebelastung** wirkt sich nicht nur auf die Verkehrsteilnehmer, sondern insbesondere auch auf die Infrastruktur aus, also auf Energie- und Wasserleitungen, Straßenbeläge, Schienenstränge, Schalt- und Steuerungsanlagen, Brücken und andere Bauwerke. Daneben steigt die Notwendigkeit der Klimatisierung von Bussen und Straßenbahnen im öffentlichen Nahverkehr, um die thermische Belastung der Passagiere zu verringern (BMVBS/BBSR 2009). **Extreme Wetterereignisse** sind ein weiterer relevanter Einfluss auf die technische Infrastruktur. Starkniederschlagsereignisse führen häufig zu Überschwemmungen von Straßen bzw. Rückstaus an Kanaleinläufen (z. B. Dornburger und Leipziger Straße; Abbildungen

5.6, 5.7 und 5.12). Damit einhergehend sind bei konvektiven Regenerereignissen oft Sturmböen, die zu herabfallenden Ästen führen können, die Schäden an Fahrzeugen und Leitungen verursachen. Auch orkanartige Ereignisse wie Kyrill (2007) und Emma (2008) führen zu Schäden an Leitungen, Straßen und Gebäuden, z. B. in der Jahnstraße im Frühjahr 2008 (Abbildung 5.13)

Nehmen im Sommer durchschnittliche **Flusspegel** durch vermehrte Hitzeperioden ab, sind Einschränkungen z. B. bei der wassersportlichen und touristischen Nutzung der Saale wahrscheinlich (Kuttler 2011a). Dagegen dürften im Winter seltener Einschränkungen durch Eisbedeckung der Binnengewässer auftreten.

Soziale Infrastruktur

Einrichtungen der sozialen Infrastruktur wie Schulen, Kindergärten, Altenheime und Krankenhäuser sind Orte an denen sich besonders von **Hitzebelastung** betroffene Personen konzentriert aufhalten. Unter künftig veränderten klimatischen Bedingungen wird die Klimatisierung im Sommer, zumindest für einen Teil der Räume, gewährleistet werden müssen (BMVBS/BBSR 2009).

Eine steigende Anzahl von extremen Starkregenereignissen sowie Hitzeperioden zieht einen steigenden Bedarf an **Einsatzkräften** (zumindest in Bereitschaft) zur Bewältigung solcher Ereignisse nach sich. Dies betrifft sowohl technische (Feuerwehr, Katastrophenschutz) als auch soziale Infrastruktur (Kranken- und Pflegepersonal).

6.

Die projizierten Auswirkungen des Klimawandels auf den urbanen Raum erfordern eine Antwort der Stadtplaner und -entwickler. Gezieltes planerisches Handeln kann die Verringerung der Vulnerabilität städtischer Strukturen und die Verbesserung von Klimaschutz- und Anpassungskapazitäten bewirken. Gleichzeitig müssen aktuelle Herausforderungen wie demographischer Wandel und Stadtbau in Planungsprozessen beachtet werden. Ziel muss es somit sein, alle relevanten Elemente in einer integrierten Stadtentwicklung zu vereinen und die daraus resultierenden Synergien und Konflikte zu erkennen und in der planerischen Abwägung zu nutzen bzw. zu bewältigen.

6.1 STÄDTEBAULICHE LEITBILDER IM KLIMAWANDEL

Leitbilder als Vorsorge

Die Raum- und damit auch die Regional- und Bauleitplanung stehen im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels am Anfang der Risikovermeidungskette, da sie langfristige **räumliche Vorsorgekonzepte** entwickeln, die als Basis für Planungsdokumente mit hoher Bestandsdauer und rechtlicher Verbindlichkeit dienen. „Die Raumplanung kann mit der Entwicklung von Leitbildern für anpassungsfähige und belastbare (resiliente) Raumstrukturen eine Vorreiterrolle übernehmen, die gegenüber den Auswirkungen aller gesellschaftlichen Veränderungsprozesse auf die Raumstruktur robust und flexibel reagiert“ (BR 2008:42). Als Leitbild wird in diesem Sinne ein informelles Instrument verstanden, welches den anzustrebenden Zustand eines Planungsraumes charakterisiert.

Für die **Entwicklung von Leitbildern** existieren keine besonderen Vorgaben oder Anforderungen. Leitbilder sollten jedoch ganzheitlich angelegt sein und alle Betroffenen einbeziehen, um die Bedürfnisse

der Bürger zu berücksichtigen und die Akzeptanz und Identifikation der bzw. mit Leitbildern zu erhöhen. Sie erhalten ihre Legitimation durch Beschlüsse politischer Entscheidungsträger und können danach als Grundlage für raumrelevante Planungen dienen (BMVBS 2011).

Maßstab Klimawandel

Während im Hinblick auf Klimaschutz im Städtebau durch eine Orientierung an entsprechenden Leitbildern (Kompakte Stadt/Stadt der kurzen Wege) mittels kompakter Siedlungs- und Bebauungsstrukturen (u. a. energetische) Optimierungsmöglichkeiten bestehen, scheint dies für den Aspekt Klimaanpassung konträr oder zumindest fraglich. Eine **Bewertung städtebaulicher Leitbilder** zur Anpassung an den Klimawandel kann anhand der Prinzipien der resilienten Stadtentwicklung erfolgen (BMVBS 2011):

- **Effizienz:** *Verringerung von Ressourcenumsatz, Abfall und Verkehr zur Senkung der CO₂-Emissionen,*
- **Exposition:** *Minimierung der Siedlungsflächenexpansion zur Reduzierung der Empfindlichkeit gegenüber Klimaänderungen sowie Erhaltung von CO₂-Senken im Außenbereich,*
- **Diversität:** *Wechsel zwischen Gebäuden, Infrastruktur und Grünbereichen innerhalb der Siedlungsstruktur als Bedingung für ein günstiges Stadtklima,*
- **Redundanz:** *Vermeidung einseitig struktureller städtebaulicher Entwicklungen als Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit des gesamten Systems bei Ausfall einzelner Elemente, dezentrale Siedlungsstrukturen zudem als Bedingung für dezentrale Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen.*

Die **Anwendung dieser Kriterien** auf städtebauliche Leitbilder zeigt Tabelle 6.1. Dabei wird deutlich, dass keines der gängigen Leitbilder die Kriterien, die an eine klimaresiliente Stadt gestellt werden

Leitbild	Effizienz	Exposition	Diversität	Redundanz
Neuere Achsenmodelle	0 Bündelung von Infrastrukturen, aber Gefahr nicht geplanter disperser Siedlungsentwicklung	+ Bündelung der Siedlungsentwicklung entlang von Achsen; Freihaltung gefährdeter Gebiete	0 Großräumige Diversität, aber kleinräumig die Gefahr zu hoher Verdichtung	- Starke Ausrichtung auf Achsen und auf das Zentrum (Betroffenheit kritischer Infrastruktur)
Die Kompakte Stadt	+ Durch Kompaktheit günstige Kostenbilanz (geringer Grunderwerb, niedrige Infrastrukturkosten, niedrige Energiekosten)	+ Kompakter Kern bietet Möglichkeit, gefährdete Areale in Außenbereichen zu meiden	0 Vermeidung monofunktionaler Siedlungsräume zugunsten vielfältiger Nutzungsmischungen inkl. Durchgrünung, Freiräume aber Gefahr zu hoher Dichte im Zentrum	0 Starke Ausrichtung auf das Zentrum, wo sich auch kritische Infrastrukturen konzentrieren
Dezentrale Konzentration	+ Bündelung von Infrastrukturen in Zentren und Achsen	0 Bündelung der Siedlungsentwicklung und Freihaltung bestehender Freiräume, aber Gefahr, dass durch Entwicklung der Versorgungsstruktur ins Umland weitere Umsiedlungen und Flächeninanspruchnahme in der Peripherie begünstigt werden	+ An zentralen Orten und entlang der Achsen von Wohnsiedlungsbereichen, Arbeitsplatz-, Versorgungs- und Freizeitzentren, damit motorisierter Individualverkehr vermieden und außerdem Freiräume erhalten werden	0/+ Lokal: starke Ausrichtung auf das Zentrum, wo sich auch kritische Infrastrukturen konzentrieren; Regional: der Aufbau dezentraler Zentralsysteme und kleinräumiger Achsenkonzepte erhöht die Redundanz des Systems
Edge City	- Die Dichte ist nicht ausreichend hoch, wodurch z. B. ein ÖPNV-Netz effizient sein würde	- Da tendenziell neuere Entwicklungen gefördert werden, besteht erhöhte Gefahr, in gefährdete Gebiete auszuweichen	+ Innerhalb dieser Städte kurze Wege und die Versorgung der Bewohner gut, so dass diese meist nicht darauf angewiesen sind, in andere Städte zu pendeln	- An für den motorisierten Individualverkehr strategisch günstigen Standpunkten entwickeln, meist an Autobahnkreuzen, unabhängig und weit ab von anderen Städten
Die Zwischenstadt	- Flächendeckende Ansiedlung ohne konkrete räumliche Schwerpunkte mit geringer Dichte; ein ÖPNV-Netz ist in einem solchen Gebiet nur schwer umzusetzen	- Entwicklung findet zwischen Städten, oft auch in gefährdeten Gebieten, statt	+ Innerhalb der Zwischenstadt recht kurze Wege und gute Versorgung der Bewohner	0 Weiträumige Ausdehnung der Zwischenstadt; disperse Siedlungs- und Infrastruktur, aber in der Regel kein ÖPNV

Tabelle 6.1: Bewertung städtebaulicher Leitbilder anhand der Prinzipien der resilienten Stadtentwicklung (Quelle: BMVBS 2011)



Klimakomfortinseln sind in Jena nie weit: Park an der Kahlaischen Straße (Quelle: Griebisch 2012)

können, vollends erfüllt. Trotzdem bieten verschiedene Leitbilder Elemente, die als Ansatzpunkte für die Gestaltung klimaresilienter Siedlungsstrukturen gelten können:

- *Ausreichend hohe städtebauliche Dichte,*
- *Erhalt bzw. Schaffung von Freiräumen,*
- *Feinmaschiges Infrastrukturnetz bei gleichzeitiger Vermeidung zu hoher Infrastrukturkonzentrationen.*

Diese Anforderungen werden am ehesten von den Leitbildern der „**Kompakten Stadt**“ und der „Dezentralen Konzentration“ erfüllt, wobei sich letzteres unter den herrschenden Marktgesetzen in dieser Form nicht durchgesetzt hat (BMVBS 2011). Eine beispielhafte Anwendung des erstgenannten zeigt z. B. das strategische Leitbild der Stadt Dresden: „Die kompakte Stadt im ökologischen Netz“ (Korn-dörfer 2010).

In Bezug auf den **Konflikt** zwischen hoher städtebaulicher Dichte (Klimaschutz) und stadtklimatisch wichtigen Freiflächen (Klimaanpassung) können Leitbilder auch normative Elemente enthalten, um in strittigen Fällen Prioritäten zu setzen (Sturm 2007). Neben den Belangen Klimaschutz und Klimaanpassung müssen städtebauliche Leitbilder auch anderen **Herausforderungen** wie Wachstum und Schrumpfung (zum Teil parallel), Strukturwandel und finanziellen Einschnitten Rechnung tragen, so dass es letztlich vor allem um einen flexibleren Umgang mit Veränderungsprozessen geht.

6.2 JENA – KLIMAGERECHT

Jena – schon heute gut an den Klimawandel angepasst

Jena liegt in einem engen Abschnitt des Saaletals und hat sich entlang der Verkehrsstrassen intensiv linear entwickelt, an Knoten verdichtet. Die drei wesentlichsten Siedlungsstrukturen weisen sämtlich das Potenzial auf, sich auch unter den Bedingungen des

Klimawandels zu bewähren: Die **Altstadt** und die historischen Kerne, erweitert um die kompakten Gründerzeitviertel, sind zwar verhältnismäßig eng und intensiv bebaut, weisen aber insgesamt keine große Fläche auf. Damit können sie teilweise von der Durchströmung und Belüftung durch die angrenzenden weniger kompakten Bauflächen und den Grünbereichen (Aue, Hänge) profitieren. Historische Gassen und verhältnismäßig enge Straßen oder Alleen sind durch Verschattung auch im Sommer angenehm kühl. Die **Gebiete aufgelockerter Bebauung** (Villenviertel und Kleinsiedlungsgebiete) sind gut durchgrünt, so dass eine größere Aufheizung nicht zu befürchten ist. Die **Großsiedlungen** schließlich sind in sich so kompakt und dicht, dass sie ohne weiteres den Kriterien innerstädtischer Entwicklung genügen. Im Klimawandel versprechen sie Beständigkeit durch ihren hohen Anteil an Grün- und Freiflächen, durch Verschattung und Verdunstungskühle.

Die **linearen Stadtstrukturen** bringen es gleichzeitig mit sich, dass sie sehr gut durch Massentransportmittel bedienbar sind. Dies wird auch durch die Dichte und die kurzen Wege begünstigt, so dass die Jenaer Stadtstruktur grundsätzlich gut geeignet ist, mit sparsamem Energieverbrauch funktionsfähig zu bleiben. Schon jetzt ist der Fußgängeranteil am täglichen Gesamtverkehr mit rund 40 % herausragend, der Radanteil stark wachsend und der Öffentliche Verkehr sehr gut ausgebaut und genutzt. Das in Planung und Bau befindliche System der Saalewege wird künftig das Rückgrat der Muskelverkehre darstellen. Damit können wesentliche Verkehrsanteile mit geringem Aufwand an Versiegelung, Technik und damit letztlich auch Kosten für die Gesellschaft und den Einzelnen aufrechterhalten werden, was letztlich angesichts des steigenden Kostendrucks ein großer Vorteil ist.

Die Jenaer Landschaft ist **horizontal geschichtet**, weshalb unversiegelte Zonen mit Gärten, Wiesen, Feldern und Wäldern überall die Siedlungsbereiche geringerer Tiefe umschließen. Damit sind eine Zuleitung von Kaltluft von den umgebenden Hängen und eine nächt-



*Straßengrün und Wasserflächen verbessern das städtische Mikroklima, z. B. am Phyletischen Museum
(Quelle: Lerm 2012)*

liche Abkühlung der Siedlungsbereiche, aber auch verringerter Wärmestrahlung durch Wind am Tage verbunden. Die waldfreien, einstrahlungsintensiven Talhänge begünstigen vor allem in Südexposition wärmeliebende, trockenresistente Vegetationselemente mit teilweise mediterranem Charakter, was die Anpassung an wärmere und trockenere Sommer erleichtern wird. Günstig ist auch, dass die Tallage eine allzu große, kompakte Bebauung begrenzt. Kein Siedlungsbereich ist länger als 10 Min. Fußweg von einer Freifläche entfernt – eine gute Voraussetzung für den Umgang mit steigender Wärmebelastung infolge des Klimawandels.

Auch die künftige Stadtentwicklung orientiert sich an den **Prinzipien der Nachhaltigkeit**: gemischte Nutzungen, kompakte Baustrukturen, sorgfältige Standortwahl für verkehrsintensive und verkehrserzeugende Aktivitäten, Abgrenzung gegenüber der Umgebung und den Grünzäsuren.

Bereiche besonderer Betroffenheit mit Anpassungsbedarf

Es gibt jedoch auch besondere Risiken und Gefahren, denen es frühzeitig zu begegnen gilt. Die Tallage zieht es nach sich, dass viele Nutzungen, darunter sehr wertintensive Bereiche von Forschung und Produktion, in **Auen- oder Hangbereichen** angesiedelt worden sind. Zwar ist die Aue durch das Talsperrensystem der oberen Saale verhältnismäßig gut vor mittleren Hochwässern geschützt, bleibt jedoch durch große Hochwässer im Einzugsbereich unterhalb der Talsperren gefährdet. Hier ist es nötig, das Risiko durch Anpassungen im Gebäudebereich, die Vergrößerung der Abfluss- und Retentionsflächen und eine verstärkte Sensibilisierung der Verantwortlichen zu umsichtigem Umgang mit den anvertrauten Menschenleben und Gütern deutlich zu senken.

Kritisch ist es auch anzusehen, wenn sich Bebauung (Entwicklung hangaufwärts) und Wald (Sukzession) immer weiter annähern. Bei langanhaltender sommerlicher Trockenheit besteht erhöhte Brandge-

fahr. Vielfach wurde und wird auch in geologisch sensiblen Bereichen gebaut. Diese sind bereits heute durch **Massenbewegungen** gefährdet; belastbare Aussagen über eine Verstärkung der Gefährdung im Zuge des Klimawandels können aufgrund des derzeitigen Kenntnisstandes noch nicht getroffen werden. Für den Flächennutzungsplan und die konkrete Umsetzung wurden Konfliktkarten vorgelegt, die es geraten erscheinen lassen, sich mit Bauten und Werten aus besonders gefährdeten Bereichen geordnet zurückzuziehen.

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung

Somit ist die Stadt auch weiterhin kompakt, Nutzungsgemischt und verkehrsreduzierend zu entwickeln, um Werte und Schutzgüter in eng begrenzten Korridoren zu konzentrieren. Hochbauten und städtebauliche Strukturen sollen sich künftig verstärkt an den in den **Klimazonen mit unseren künftigen Klimabedingungen** entstandenen, erprobten und bewährten Eigenschaften orientieren und diese adoptieren. Robustheit wird ein wesentliches städtebauliches Kriterium sein. Zur Gliederung sind Schneisen, Zäsuren, Parks, Grüngürtel und Auen zu nutzen. Sie dienen der Stadtbelüftung und -kühlung, als Grünverbindungen und der Erholung. In sommerlichen Hitzeperioden stellen sie Klimakomfortinseln dar. Um die Überhitzung nicht mit künstlichen und energieaufwändigen technischen Einrichtungen einzudämmen, sollten alle sich bietenden **Möglichkeiten der Kühlung** über Verschattung und Verdunstung genutzt werden: Straßengrün, Fassaden- und Dachbegrünung, Schaffung von verdunstungsoffenen Flächen (Entsiegelung) und Schutz bzw. Neuanlage von Gewässern. Die **Artenauswahl** für das Stadtgrün ist zu verändern. Der Trend geht hin zu den Pflanzen der Steppenregion Mittelasiens oder der Gebirge Nordamerikas, wo Bedingungen herrschen, die denen des künftigen Stadtklimas ähneln: sommerlich trocken und heiß, im Winter jedoch auch weiterhin Frostgefahr. Auch die Land- und Forstwirtschaft hat sich hinsichtlich der Arten und Bewirtschaftungsformen anzupassen. Der Boden ist vor Wind- und Wassererosion zu schützen, bevorzugt

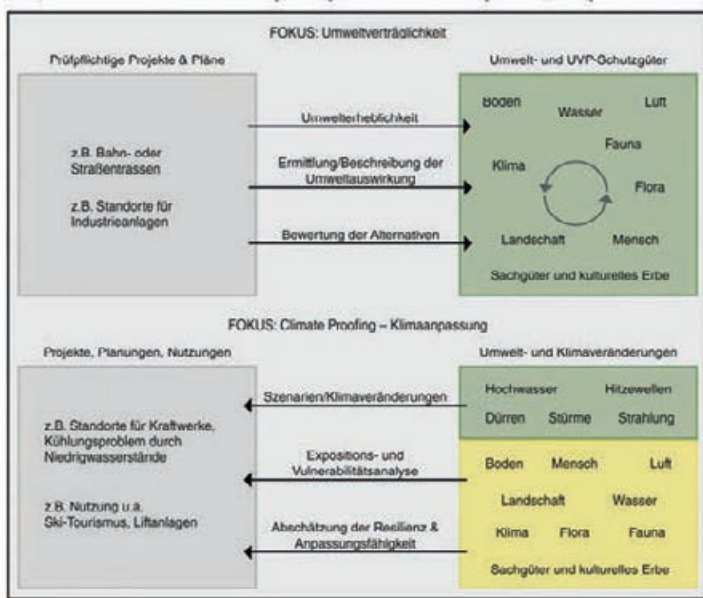


Abbildung 6.1: Perspektivenwechsel beim „Climate proofing“ im Vergleich zur Umweltverträglichkeitsprüfung (Quelle: BMVBS 2011)

durch freiwachsende Hecken und die Vermeidung von hangabwärtsgerichteten Erosionsbahnen.

Das **Quartett der vier „V-s“** gilt der Beurteilung jeglicher Bau- und Verkehrsvorhaben. Die damit verbundenen jeweiligen absehbaren Risiken sollten durch geeignete Strategien **vermieden**, **verringert**, **verträglich bewältigt** oder schließlich, wenn sich bei Abwägung von Aufwand und Nutzen ein Missverhältnis ergäbe, **hingenommen** und lediglich **versichert** werden.

Hinsichtlich des Mitteleinsatzes werden künftig andere Prioritäten gelten. Klimaschutz und -anpassung werden wesentlich höhere Aufwendungen erfordern. Die **Vorsorge** ist zwar grundsätzlich eine sehr sinnvolle Investition, weil sie größere Schäden verhütet und sich damit langfristig gesehen auszahlt. Jedoch ist es schwer, im Konzert des Wünschenswerten dafür Gehör zu finden. Viel klarer und damit – leider – unabweisbarer sieht das beim Wiederaufbauaufwand nach Schadensereignissen aus. Hier ist über den Kreis der unmittelbar Betroffenen hinaus die Solidarität der Gesamtgesellschaft gefragt. Bei absehbar sich verdichtenden Anzeichen von Schadereignissen in kürzerer Folge wird der Vorsorgeaspekt, also das systematische Anpassen, wieder mehr Gewicht bekommen. Ein Beispiel dafür ist das Bundesland Sachsen, wo hochwassergeschädigte Eigentümer mittlerweile in klarer Sprache darauf hingewiesen werden, dass künftig mit keiner staatlichen Unterstützung mehr zu rechnen sei, sondern die Eigentümer selber vorsorgen bzw. sich versichern müssen.

„**Jena klimagerecht**“ heißt, dass der Übergang zum postfossilen, postindustriellen Zeitalter bewältigt wird, dass man in Kenntnis der Gefahren und Risiken vorsorgt, weshalb Nachsorge und Katastrophenbewältigung die Ausnahme bleiben und dass schließlich die städtische Lebensqualität durch an die veränderten klimatischen Gegebenheiten angepasste Gebäude- und Stadtstrukturen auch weiterhin gewährleistet wird.

6.3 CLIMATE PROOFING

Klimawandelangepasste Planung

Der Begriff „Climate proofing“ bzw. „Climate proof planning“ weist auf die Notwendigkeit einer klimawandel-angepassten Planung bzw. Entwicklung hin und wird meist in den Zusammenhang mit der Operationalisierung klima- bzw. **klimawandelverträglicher Entwicklung** gestellt. Dabei geht es um die Frage, welche Methoden, Instrumente, Indikatoren etc. eingesetzt werden können, um umzusetzende Maßnahmen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu sichern, sie also „climate proof“ zu machen. Ziel ist es, im Planungsprozess so zu entscheiden, dass die Ergebnisse (entstehende Raumstrukturen) resilient gegenüber Klimaänderungen sind und somit dem Nachhaltigkeitsprinzip entsprechen. Es kann also konstatiert werden: „Unter ‚Climate Proofing‘ sind Methoden, Instrumente und Verfahren zu verstehen, die absichern, dass Pläne, Programme und Strategien sowie damit verbundene Investitionen gegenüber den aktuellen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels resilient und anpassungsfähig gemacht werden und die zudem auch darauf abzielen, dass die entsprechenden Pläne, Programme und Strategien dem Ziel des Klimaschutzes Rechnung tragen“ (BMVBS 2011:71).

Einbindung in Planungsprozesse

Auch wenn die Notwendigkeit von „Climate proofing“ nachvollziehbar ist, steht die Frage nach der **konkreten Umsetzung** bzw. Einbindung in Planungsprozesse. Eine verbreitete Meinung ist, eine Integration in die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bzw. die Strategische Umweltprüfung (SUP) zu realisieren (Birkmann & Fleischhauer 2009, Greiving 2004). Die Einführung einer solchen Kategorie in UVP und SUP ist nicht Aufgabe kommunaler Akteure. Dennoch sollten die Grundsätze von „Climate proofing“ auch ohne formelles Verfahren in den Stadtentwicklungsprozess einfließen.

Der wesentliche Unterschied zu UVP und SUP ist die **veränderte**

Betrachtungsweise: Nicht die Auswirkungen eines Plans bzw. Projektes auf die Umwelt stehen im Vordergrund, sondern Auswirkungen der Umwelt (z. B. in Form der Klimawirkfolgen) auf den Plan bzw. das Projekt sind abzuschätzen (Abbildung 6.1). In der Konsequenz sollten die Plan- bzw. Projektalternativen priorisiert werden, die auch unter veränderten klimatischen Bedingungen dem Leitbild einer nachhaltigen Raumentwicklung mit klimaresilienten Raum- und Siedlungsstrukturen entsprechen.

Die **Prüfung von möglichen Folgen** von Umwelt- bzw. Klimaveränderungen auf Pläne und Projekte im Rahmen eines „Climate proofing“ sollte nach BMVBS (2011) folgende Bausteine umfassen:

- **Expositionsanalyse:** *Darstellung der Exposition der Stadt in Bezug auf mögliche Klimaänderungen; Benennung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Stadt,*
- **Verwundbarkeitsabschätzung:** *Durchführung einer Abschätzung der Verwundbarkeit für die Stadt oder das geplante Projekt,*
- **„Climate proofing“-Bericht:** *Darstellung und Bewertung der Pläne und Projekte in Bezug auf ihre Anpassung und Resilienz unter veränderten klimatischen Bedingungen,*
- **Zielsetzungen:** *Erläuterung der im umzusetzenden Plan oder Projekt integrierten Ziele zur Klimaanpassung einschließlich ihrem Bezug zum Klimaschutz,*
- **Dokumentation:** *Darstellung von Methoden und Verfahren, die bei der Diskussion und Bewertung von Planungsalternativen verwendet wurden,*
- **Hindernisse:** *ggf. Erläuterung von Schwierigkeiten im „Climate proofing“-Prozess, z. B. in Bezug auf Unsicherheiten bei Klimaszenarien bzw. „Nicht-Planbarkeiten“ hinsichtlich der Klimaanpassung.*

Die Entwicklung wirkungsvoller Anpassungsstrategien, die eine klimaresiliente Raum- und Stadtstruktur zum Ziel haben, erfordert ein Verfahren, das prinzipiell in bestehende Prüfverfahren wie UVP und SUP integrierbar ist, aber in dieser Form noch nicht in der Planungspraxis angekommen ist. Dazu ist eine **Perspektivenerweiterung** in

der Umweltprüfung notwendig, die auch dadurch gefördert wird, dass Fragen der Klimaanpassung systematisch in Planungsprozessen integriert und abgearbeitet werden. Wird dies gewährleistet, kann „Climate proofing“ einen erfolgversprechenden Ansatz bieten, die künftige städtebauliche Entwicklung, aber auch den Bestand gegenüber den Auswirkungen des projizierten Klimawandels resilient zu gestalten. Dem entgegen würde die Einführung eines neuen Prüfverfahrens auf wenig Akzeptanz stoßen, so dass auch unter diesem Aspekt die Einbindung des „Climate proofing“ in UVP und SUP die bessere Wahl darstellt (BMVBS 2011).

Wenn auch bereits Klimabelange in Bauleitverfahren der **Stadt Jena** berücksichtigt werden, so ist „Climate proofing“ methodisch noch nicht eingeführt. Mit einer Bestätigung der Jenaer Anpassungsstrategie als informelle Planung besteht jedoch die Verpflichtung, „Climate proofing“ in der Stadtentwicklung umzusetzen (§ 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB). Außerhalb spezifisch städtischer Planungen ist „Climate proofing“ bereits angekommen. In den Sektoren Land- und Forstwirtschaft wird sich nicht erst seit Aufkommen der Klimawandel-Diskussion mit der Frage einer klimaangepassten Planung beschäftigt. Grundlegende Betroffenheitsanalysen und Handlungsempfehlungen wurden hier bereits für **Thüringen** vorgelegt (TLL 2009, 2012; TLWJF 2010a, 2010b).

RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND INSTRUMENTE DER KLIMAWANDELANPASSUNG

7.

Während der Klimaschutz als Abwägungsbelang weithin akzeptiert und in bestehende Rechtsvorschriften integriert ist, begann eine Wahrnehmung der Klimawandelanpassung als Abwägungsbelang erst vor wenigen Jahren. Was in der Deutschen Anpassungsstrategie 2008 bereits aufgezeigt wurde, erfuhr durch die Novelle des Baugesetzbuchs 2011 einen weiteren wichtigen Impuls und eine rechtliche Festschreibung. Das damit bestehende Instrumentarium ist geeignet, die Anforderungen von Klimaschutz und -anpassung in der räumlichen Planung zu berücksichtigen und das Leitbild einer nachhaltigen Stadtentwicklung umzusetzen. Wichtig bleibt es, den Planern gute fachliche Beispiele und Handreichungen für die praktische Umsetzung an die Hand zu geben und die Anpassung an Klimawandel als Abwägungsbelang in ihrem Bewusstsein zu verankern.

7.1 BAUGESETZBUCH

Mit dem **Stadtratsbeschluss** vom 22.04.2009 hat sich die Kommunalvertretung der Stadt Jena dazu bekannt, den durch den Klimawandel anstehenden Aufgaben mit der Erarbeitung einer Anpassungsstrategie zu begegnen. Dies stellt für die Verwaltung die kommunale Ermächtigung für die Erarbeitung einer solchen Strategie dar.

Klimaanpassung als Abwägungsbelang

Eine Verantwortung der Stadtentwicklung gegenüber den Folgen des Klimawandels ist gegeben, wenn diese **raumplanungsrelevant** im Sinne des Raumordnungsgesetzes (§ 1 Abs. 1 bzw. § 7 Abs. 3 ROG) sind und damit eine überörtliche, überfachliche Betrachtung erfordern, da ihre Auswirkungen bzw. Vermeidungs- und/oder Bewältigungsstrategien überörtlich bedeutend sind oder im konkreten Bezug zur Bodennutzung stehen (vgl. Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG in Verbindung mit § 1 Abs. 1 BauGB), weil die räumlichen Folgen die bauliche oder sonstige Nutzbarkeit des Bodens einschränken und/oder Flächen für besondere Vorkehrungen gegenüber ihren Einwirkungen gebraucht werden und somit den Regelungen des Baugesetzbuches

unterliegen (vgl. § 5 Abs. 2b Nr. 1 BauGB bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 16 und 24 BauGB) (BMVBS 2011).

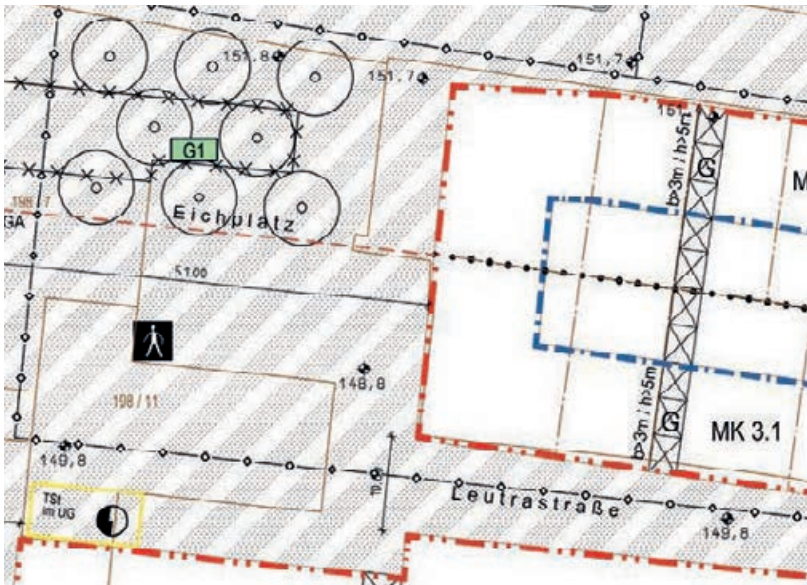
„Der Klimawandel ist raumplanungsrelevant, wenn mit Hilfe raumplanerischer Instrumente Eintrittswahrscheinlichkeit, Intensität oder Konsequenz von Klimafolgen für bestimmte, ausreichend sicher identifizierbare Entstehungs- und/oder Betroffenheitsräume beeinflussbar sind oder planerische Anpassungsstrategien gestaltet werden können“ (BMVBS 2011:49).

Die gesetzlich fixierten Grundsätze der Raum- und Stadtplanung spiegeln die **Leitvorstellungen einer nachhaltigen Raumentwicklung** entsprechend § 2 Abs. 1 Raumordnungsgesetz (ROG) wieder und sind damit Ausdruck des gesetzgeberischen Auftrages des Art. 14 Abs. 2 des Grundgesetzes, eine Bodenordnung zu schaffen, die den Eigentums- und Allgemeininteressen gleichermaßen gerecht wird. Aus diesem Spannungsfeld resultiert gleichzeitig die Orientierung auf einen konsensualen Lösungsansatz (Governance). Nach dem Raumordnungsgesetz ist mit § 2 Abs. 2 Nr. 6 S. 6 „den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen“.

Novelle des BauGB

Mit der Novelle des Baugesetzbuches (BauGB) vom 22. Juli 2011 wurde dieser Grundsatz als Legaldefinition der „Klimaschutzklausel“ mit § 1a Abs. 5 BauGB in die Stadtentwicklung übernommen. Tenor der Gesetzesnovelle ist die Fixierung der sachlichen **Einheit von Klimaschutz und Klimaanpassung** in der Stadtplanung, insbesondere in der Bauleitplanung.

Als planerischer Auftrag ist hierfür die Erweiterung des **Nachhaltigkeitsgrundsatzes** zu sehen, neben der Absicherung einer menschenwürdigen Umwelt, dem Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen „Klimaschutz und Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern“ (§ 1 Abs. 5 S. 2 BauGB) und den



Anpassungsmaßnahmen können in Bebauungsplänen festgesetzt werden: Bebauungsplan Eichplatz (Quelle: Stadt Jena 2010)

sich daraus abzuleitenden Erfordernissen Rechnung zu tragen. Nach diesem Grundsatz sind Klimaschutz und Klimaanpassung als weitere Belange in die Abwägung entsprechend § 1 Abs. 7 BauGB einzustellen. Gleichsam werden aber auch die Kommunen vor die Aufgabe gestellt, Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte als informelle Planung nach § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB zu entwickeln. Für die abwägungsfeste Berücksichtigung des Klimawandels in einer kommunalen Anpassungsstrategie sind jedoch die Unsicherheiten der Klimaprojektionen und teilweise der erwarteten Klimafolgen sowie der, im Vergleich z. B. zum Zeithorizont eines FNP, lange Betrachtungszeitraum zu beachten.

Parallel dazu zielt das **Energiefachrecht** auf energetische Einsparungen bei der Ausformung der Gebäude und fordert deren Versorgung mit nichtfossilen Energien. Die sich daraus ergebenden Gebäudekörper erfüllen damit gleichzeitig jene technische Anforderungen, mit denen die Häuser den Bedingungen des Klimawandels gerecht werden sollen (z. B. sommerlicher Wärmeschutz). Die Anforderungen für eine nachhaltige Energieversorgung und -nutzung über das Energiefach- und -finanzierungsrecht (wie EEG, EEWärmeG, EnEV etc.) finden verstärkt mit der BauGB-Novelle ihre bodenrechtliche Entsprechung im Städtebaurecht.

Instrumentarium des BauGB

Bei der räumlichen Planung gilt die kommunale Ebene der **Bauleitplanung** als wichtiges Instrument, das zum Schutz des Klimas und zur Anpassung an den Klimawandel wesentlich beitragen kann. Mit Bauleitplanverfahren können die Betroffenheiten gegenüber dem Klimawandel bewältigt werden, die einen konkreten Bezug zur Bodennutzung aufweisen. Anpassungsempfehlungen können im Zuge der Änderung des **Flächennutzungsplanes** (FNP) durch entsprechende Darstellungen oder im Zuge der Ausweisung neuer Baugebiete durch verbindliche Festsetzungen in Bebauungsplänen, einschließlich deren Grünordnungsplänen, berücksichtigt werden. Die

Handlungserfordernisse ergeben sich aus dem integrativen Ansatz der Schutzgutprüfungen, die innerhalb der Planungsverfahren zu durchlaufen sind (Strategische Umweltprüfung bzw. Umweltverträglichkeitsprüfung, siehe Kapitel 7.2).

Mit der **BauGB-Novelle** 2011 erhält die Gemeinde mit den Darstellungen nach § 5 BauGB für den FNP und mit dem Festsetzungskatalog nach § 9 Abs. 1 BauGB für den **Bebauungsplan** Instrumente, um auf sich aus dem Klimawandel ergebende Anforderungen zu reagieren. Dies betrifft z. B. sowohl den Anpassungsbedarf für „durch Extremereignisse gefährdete Bereiche“ (Freihaltung von Flächen nach § 9 Abs. 5 Nr. 1 BauGB), die Sicherung des lokalen Luftaustausches zur Abmilderung der städtischen Aufheizung (Kombination von § 9 Abs. 1 Nr. 10, 15, 18, 20, 24, 25 BauGB), die Reaktion auf die veränderten klimatischen Bedingungen bei der Ausformung von Siedlungsgebieten (z. B. Festsetzungen zur Baukörperstellung, der Kompaktheit, Grünflächengestaltung) als auch der Sicherung der notwendigen Infrastrukturen etc.

Mit § 5 Abs. 2 Nr. 2c BauGB ist für den **Flächennutzungsplan** die allgemeine Handlungsermächtigung zur „Ausstattung des Gemeindegebietes (...) mit Anlagen, Einrichtungen und sonstigen Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen“ gegeben. Darüber hinaus ist für privilegierte Vorhaben im Außenbereich (z. B. für Windenergieanlagen) die Möglichkeit zur Aufstellung von sachlichen und mit der Novelle auch von räumlichen Teilflächennutzungsplänen gegeben. Für verbindliche Festsetzungen für Anpassungen an den Klimawandel können im Bebauungsplan beispielsweise § 9 Abs. 1 BauGB Nr. 12 (Sicherung von Versorgungsflächen) und Nr. 23b (bauliche und technische Maßnahmen an Gebäuden) herangezogen werden.

Eine Übersicht zu **Möglichkeiten der Darstellung bzw. Festsetzung** von Anpassungsmaßnahmen im FNP und B-Plan sind in Tabelle 7.1 zu finden. Genauere rechtliche Grundlagen zur Umsetzung einzelner Anpassungsoptionen sind im Gesamtkatalog des JELKA (auf der beiliegenden CD) für jede Handlungsempfehlung hinterlegt.

Anpassungsziel	Möglichkeiten zur Darstellung bzw. Festsetzung im FNP und B-Plan	Rechtliche Grundlagen
Anpassung an steigende Temperaturen und häufigere Hitzeperioden		
Erhalt und Schaffung stadtklimatisch bedeutsamer Grün- und Freiflächen	Darstellung/Festsetzung von (öffentlichen und privaten) Grünflächen, wie Parkanlagen, Kleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätzen sowie Friedhöfen	§ 5 Abs. 2 Nr. 5 bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB
	Darstellung/Festsetzung von Wasserflächen	§ 5 Abs. 2 Nr. 7 bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB
	Darstellung/Festsetzung von landwirtschaftlichen und Waldflächen	§ 5 Abs. 2 Nr. 9 bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 18 BauGB
	Darstellung/Festsetzung der Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft	§ 5 Abs. 2 Nr. 10 bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB
Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung der Siedlungsstruktur	Festsetzungen zum Maß der baulichen Nutzung (Grundflächenzahl und Höhe der baulichen Anlagen)	§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB i.V.m. § 16 Abs. 4 Nr. 1 u. 4 BauNVO
	Festsetzungen zur Bauweise (offen/geschlossen) sowie zur Stellung der baulichen Anlagen (Baulinien, Baugrenzen, Bebauungstiefen)	§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB i. V. m. § 22 u. 23 BauNVO
	Festsetzung von Mindestmaßen der Baugrundstücke (um einer zu großen Verdichtung entgegenzuwirken)	§ 9 Abs. 1 Nr. 3 BauGB
	Festsetzung der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind (z. B. zur Sicherung einer stadtklimatisch notwendigen Frischluftschneise)	§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB
Begrünung von Verkehrsflächen und Grundstücken	Festsetzungen für das Anpflanzen sowie Bindungen für die Erhaltung von Bäumen und Sträuchern in einem Bebauungsplangebiet oder Teilen davon (Pflanzgebot)	§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB i. V. m. § 178 BauGB
Schaffung von Dach- und Fassadenbegrünungen	Festsetzungen über die Bepflanzung und Begrünung baulicher Anlagen	§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB i. V. m. § 83 Abs. 1 Nr. 6 ThürBauO

Tabelle 7.1: Zusammenstellung bauleitplanungs- und bauordnungsrechtlicher Möglichkeiten zur Anpassung an Auswirkungen des Klimawandels nach Baugesetzbuch (BauGB), Baunutzungsverordnung (BauNVO) sowie Thüringer Landesbauordnung (ThürBO) (Quelle: verändert nach SCB 2009)

Anpassungsziel	Möglichkeiten zur Darstellung bzw. Festsetzung im FNP und B-Plan	Rechtliche Grundlagen
Anpassung an häufigere und stärkere Extremniederschläge		
Reduzierung des Versiegelungsgrads in Siedlungsgebieten	Festsetzungen zum Maß der baulichen Nutzung (Grundflächenzahl)	§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB i. V. m. § 16 Abs. 4 Nr. 1 BauNVO
	Festsetzungen zur überbaubaren und zur nicht überbaubaren Grundstücksfläche	§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB
	Festsetzung der Größe und Ausgestaltung von Verkehrsflächen	§ 9 Abs. 1 Nr. 11 BauGB
	Festsetzungen über die Bepflanzung und Begrünung baulicher Anlagen (z. B. Dachbegrünungen)	§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB i. V. m. § 83 Abs. 1 Nr. 6 ThürBauO
	Möglichkeit der Verpflichtung zur Beseitigung einer baulichen Anlage bzw. versiegelten Fläche, wenn diese den Festsetzungen des Bebauungsplans nicht mehr entsprechen und ihnen nicht angepasst werden können (Rückbau- und Entsiegelungsgebot)	§ 179 BauGB
	Festsetzungen zur Errichtung von Stellplätzen und Garagen ausschließlich im Bereich der überbaubaren Grundstücksfläche, also in Geschossen der baulichen Anlage (z. B. Untergeschoss)	§ 12 Abs. 4 u. Abs. 5 BauNVO
	Festsetzung der Unzulässigkeit von Stellplätzen, Garagen oder sonstigen Nebenanlagen auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen	§ 12 Abs. 6 u. § 14 BauNVO
	Nutzung von nicht überbauten Flächen der Baugrundstücke als Grünflächen und Vermeidung von Befestigungen und Versiegelungen auf diesen Flächen	§ 9 Abs. 1 ThürBauO
Umsetzung einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung	Festsetzung von Flächen für die Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser	§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB
	Festsetzung von Maßnahmen zur Versickerung, Sammlung oder Verwendung von Niederschlagswasser auf dem Baugrundstück	§ 16 Abs. 1 ThürBauO
Schutzgewährung vor Einflüssen durch Starkregenereignisse	Darstellung/Festsetzung von Flächen für die Regelung des Wasserabflusses	§ 5 Abs. 2 Nr. 7 bzw. § 9 Abs. 1 Nr. 16 BauGB
	Festsetzung der Höhenlage für Nutzungen, z. B. wenn für ein Baugebiet oder Teile davon Überschwemmungsgefahr besteht	§ 9 Abs. 1 u. 3 BauGB
	Verpflichtung zur Berücksichtigung einer geeigneten Anordnung und Beschaffenheit baulicher Anlagen zur Vermeidung von Gefahren durch Wasser und Feuchtigkeit Verpflichtung zur Berücksichtigung der Eignung eines Baugrundstücks für die Errichtung einer baulichen Anlage	§ 16 Abs. 1 ThürBauO



Neubaugeliete bieten die Möglichkeit, Klimaschutz und Klimaanpassung zu integrieren: Bebauungsplan Hausberg (Quelle: Stadt Jena 2011)

Mit der Klimanovelle wurden auch die Ausgestaltungsmöglichkeiten der städtebaulichen Verträge um energetische Belange ergänzt (§ 11 Abs. 1 Nr. 4 und 5 BauGB). Ebenso fanden im **Besonderen Städtebaurecht** Aspekte zur Berücksichtigung des Klimawandels Eingang. Damit wird betont, dass gerade im dominierenden Gebäudebestand der Stadtquartiere ein großes Handlungspotential besteht, insbesondere durch die energetische Gebäudesanierung. Erhebliche städtebauliche Funktionsverluste können gem. § 171a Abs. 2 BauGB vorliegen, wenn die allgemeinen Anforderungen an Klimaschutz und Klimaanpassung nicht erfüllt sind. Die im § 171a Abs. 3 definierten Zielstellungen von Stadtumbaumaßnahmen sollen daher Klimaschutz und Klimaanpassung gleichermaßen dienen, sowohl hinsichtlich eines verträglichen Umganges mit brach- bzw. freiliegenden Flächen als auch des nachhaltigen Umganges mit der Altbausubstanz. Ausdrücklich wird die Möglichkeit von Zwischennutzungen hervorgehoben. Auf diese sich mit den dynamischen Klimaänderungen wandelnden Anforderungen kann mit einem „Baurecht auf Zeit“ reagiert werden, wie es auch in der verbindlichen Bauleitplanung in § 9 Abs. 2 BauGB fixiert ist.

Praktische Umsetzung

Für eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel müssen zahlreiche **Konkurrenzen und Interessenskonflikte** berücksichtigt bzw. die besonderen lokalen Rahmenbedingungen gewürdigt werden. Gleichsam kann mit dem Instrument der Bauleitplanung nur sehr begrenzt auf den **baulichen Bestand** eingewirkt werden, da dieser gemäß Art. 14 GG Bestandsschutz genießt. Folglich können Anpassungsmaßnahmen im baulichen Bestand der Innenstädte und in den bestehenden Siedlungsräumen nur deutlich eingeschränkt realisiert werden und erfordern verstärkt Anreizsysteme der Eigentümer, wie z. B. Förderprogramme.

Dahingegen bestehen bei Neuerschließung von **Neubaugelieten** größere Steuerungs- und Einflussmöglichkeiten durch die Kommu-

ne. Wichtig ist mithin die Erkenntnis, dass es im Grunde nicht um die Bewältigung singulärer Fragen wie Klimaschutz oder -anpassung, sondern um eine mit anderen Belangen abgestimmte integrierte klimawandelgerechte Stadtentwicklung geht.

7.2 LANDSCHAFTSPLANUNG UND UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG

Landschaftsplanung

Im Hinblick auf die Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien werden die **Schwerpunkte** der Landschaftsplanung zukünftig neben den in § 9 BNatSchG aufgeführten Aufgaben und Inhalten der Landschaftsplanung vermehrt auf der Erfüllung klimatischer Funktionen, auf den sich ändernden Verhältnissen im Wasserhaushalt sowie auf der Erhaltung der Biodiversität liegen müssen. So besteht im Rahmen der Landschaftsplanung die Möglichkeit, klimatologisch wirksame Gebiete (Kaltluftentstehungsgebiete, lufthygienisch bedeutsame Ausgleichsräume etc.) mittel- und langfristig zu sichern oder zu schaffen, auf ein sich veränderndes Wasserregime zu reagieren, Flächen für den vorsorgenden Hochwasserschutz bereitzustellen oder einen Biotopverbund zu realisieren, mit dem mögliche klimawandelbedingte Veränderungen des Naturraumes abgepuffert werden können (SCB 2009).

Um **konkrete Klimaanpassungsmaßnahmen** verwirklichen zu können, ist ein abgestimmtes Ineinandergreifen von Kriterien und Zielsetzungen auf der Ebene des Landschaftsplanes/Flächennutzungsplanes und der verbindlichen Bauleitplanung erforderlich. Als Grundlage dienen die Fachdaten des Landschaftsplanes (Bestandserfassung, Bewertung, Maßnahmenerstellung), welche dann durch entsprechende Nutzungsdarstellungen und Festsetzungen in der Bauleitplanung berücksichtigt werden können (z. B. als Grünfläche, Wasserfläche oder als Fläche für die Landwirtschaft). Neben Aussagen zum Maß der baulichen Nutzung (Versiegelungsgrad und Höhe

der baulichen Anlagen) können als Weiterentwicklung der Ziele der Landschaftsplanung im Rahmen der Bauleitplanung auch Festsetzungen zur Bauweise (geschlossen oder offen) bzw. zur Ausrichtung der baulichen Anlagen als konkrete Maßnahmen zur Klimaanpassung festgesetzt werden (Kapitel 7.1).

Umweltverträglichkeitsprüfung und Strategische Umweltprüfung

Die **Strategische Umweltprüfung (SUP)** gemäß §14 UVPG setzt im Gegensatz zu der Umweltverträglichkeitsprüfung, welche erst bei der Zulassung umwelterheblicher Vorhaben zum Zuge kommt, bereits im Vorfeld auf der vorbereitenden Planungsebene an. Sie ist bei allen umweltbedeutsamen Planungsverfahren wie z. B. der Raumordnung, der Bauleitplanung oder der Landschaftsplanung durchzuführen. Durch die Untersuchung der Umweltbedeutsamkeit von Plänen und Programmen soll sichergestellt werden, dass bereits Planungen, welche die Grundlagen für spätere Entscheidungen darstellen, umweltverträglich, transparent und unter Einbeziehung der Öffentlichkeit durchgeführt werden (SCB 2009).

Im Hinblick auf die **Anpassung an den Klimawandel** ist neben der bisherigen Betrachtung des Schutzgutes Klima bzw. Luft nach § 2 Abs. 1 Satz 2 UVPG (Beeinträchtigung von Kaltluftentstehungsgebieten, Frischluftschneisen) zusätzlich eine Prüfung erforderlich, inwieweit die Auswirkungen eines Vorhabens oder einer Planung auch unter einem sich ändernden Klima noch tragfähig sind bzw. ob die Anpassungsfähigkeit der betrachteten Raumnutzungen an die sich ändernden klimatischen Bedingungen ausreichend sind. Ob dafür jedoch neue Instrumente geschaffen werden müssen, ist fraglich. Nach Greiving (2004) sind mittels der Schutzgüter „Mensch“ und „Kultur- und Sachgüter“ in den SUP-Richtlinien durchaus Möglichkeiten für eine Prüfung vorhanden, ob eine vorgesehene Entwicklung zu zusätzlichen Schadenspotenzialen führen kann, wenn z. B. in Bereichen gebaut wird, die von (klimabeeinflussten) Naturgefahren betroffen sind.

Ein Ansatzpunkt zur Vermeidung künftiger Risiken durch klimabeeinflusste Naturgefahren ist auch mit dem im Zuge der SUP zu erstellenden **Umweltbericht** gegeben. Durch Pläne und Programme verstärkte oder neu entstehende Risiken – insbesondere die Erhöhung des Schadenspotenzials – können hier als erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt interpretiert werden. Dies wird insbesondere bei den in Anhang II der SUP-Richtlinie (2001/42/EG) aufgeführten Kriterien für die Ableitung der voraussichtlichen Erheblichkeit von Umweltwirkungen erkennbar, aufgrund derer auch die Risiken für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt, die durch Pläne und Programme entstehen oder verstärkt werden, zu beachten sind.

Eine weitere Chance für eine klimaangepasste Raumordnung und Bauleitplanung könnte das Monitoringverfahren innerhalb der **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** bieten. Hier besteht die Möglichkeit, Entwicklungen zu beobachten und bestehende Planungen ggf. den neuen Bedingungen anzupassen. Somit könnten Raumordnungs- und Bauleitpläne mit eintretenden Klimaänderungen abgeglichen und ggf. überarbeitet werden, falls dies erforderlich werden sollte (SCB 2009).

Es kann somit konstatiert werden, dass eine **Berücksichtigung von Auswirkungen** des Klimawandels bereits in UVP und SUP angelegt sind. „Es bedarf lediglich einer Bewusstseins-schärfung der Anwender, die (noch) allzu oft eine enge, auf Natur und Landschaft fixierte Sichtweise einnehmen. Eine formelle Klimaverträglichkeitsprüfung würde demgegenüber neuen Verfahrensaufwand generieren, der auf kommunaler Ebene erheblichen Widerstand auslösen dürfte“ (BMVBS 2011:49).

JELKA – DAS ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNGSWERKZEUG FÜR LOKALE KLIMAWANDELANPASSUNG

8.

Der Einsatz EDV-basierter Planungs- und Informationssysteme als **unterstützendes Werkzeug** zur Entscheidungsfindung bei operativen und strategischen Aufgaben hat sich in der jüngeren Vergangenheit etabliert. Da die Klimawandelanpassung ein langfristig angelegter Prozess ist, der viele verschiedene Institutionen, Planungsebenen etc. zusammenführt, ist auch hier die Erstellung eines prozessbegleitenden, unterstützenden Systems zur Datensammlung, Datenverwaltung und weiterführender Verknüpfung mit Optimierungsalgorithmen empfehlenswert.

Grundlagen des Werkzeugs

Das **JELKA (Jenaer Entscheidungsunterstützung für lokale Klimawandelanpassung)** fungiert als eine Datenbank, in der Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel aus Handlungsleitfäden und Klimawandelanpassungskonzepten wie ExWoSt-Stadtklimalotse (BBSR 2012), Handbuch Stadtklima NRW (MUNLV NRW 2010), Stadtentwicklungsplan Klima Berlin (SSB 2011), Kompass-Tatenbank (UBA 2011) mit allen relevanten Informationen zusammengetragen wurden und nach den gebräuchlichen Prinzipien einer Datenbank gespeichert, verwaltet und bearbeitet werden können. Diese Handlungsempfehlungen wurden in Arbeitsgesprächen mit Vertretern der Stadt Jena, Repräsentanten lokal ansässiger Unternehmen, Kooperationspartnern und der lokalen Forschungsassistenz auf ihre lokale Anwendung hin

untersucht und entsprechend der infrastrukturellen, sozialen und naturräumlichen Ausstattung der Stadt Jena angepasst.

Darüber hinaus enthält JELKA gezielte Zusammenstellungen von Handlungsempfehlungen je nach Perspektive (Tätigkeitsfeld) des Akteurs. Dem Grundgedanken des sogenannten **Drei-Perspektiven-Ansatzes** folgend kann der Anwender die Handlungsempfehlungen nach den Gliederungsebenen Handlungsfeld (Siedlungsentwicklung, Infrastruktur, Landwirtschaft etc.), Klimawirkfolge (Hochwasser, Erosion etc.) oder räumliche Einheit (Ortsteile) auswählen (Abbildung 8.1). Dem Entscheidungsunterstützungssystem liegt ein mathematischer Algorithmus zugrunde (Kapitel 8.1), welcher die Handlungsempfehlungen, dem Drei-Perspektiven-Ansatz folgend, priorisiert und dem Anwender empfiehlt. Die **Priorisierung der Handlungsempfehlungen** innerhalb der Perspektiven Klimawirkfolge und räumliche Einheit (Ortsteile) wurde anhand dieses Algorithmus' vorgenommen. Die Einordnung der Handlungsempfehlungen in die Handlungsfelder erfolgte anhand ihres thematischen Schwerpunkts.



Abbildung 8.1: Drei-Perspektiven-Ansatz im JELKA

8.1 PRIORISIERUNG DER HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN IM JELKA

Schritt 1 - Automatisierte Priorisierung im JELKA

Der Gesamtkatalog des JELKA enthält derzeit 118 Handlungsempfehlungen zur Klimawandelanpassung. Jede Empfehlung wurde bzgl. ihrer **Effektivität in der Anpassung** an die belastenden Klimawirkfolgen (Hitze, Trockenheit, Hochwasser, Erosion, Extremereignisse) grob eingeschätzt und kategorisch bewertet:

- 1 → *kein oder kein direkter Anpassungseffekt*
- 2 → *wenig bis mäßig effektiv*
- 3 → *sehr effektiv*

Jede Handlungsempfehlung hat somit eine individuelle **Wirksignatur**, welche deren Effekt hinsichtlich der Anpassung an die Klimafolgen beschreibt (Tabelle 8.1).

Handlungsempfehlung	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion	Extremereignisse
FOR-06	2	2	2	3	2
HUM-05	3	1	3	1	1
NAT-09	1	1	2	1	1
...					

Tabelle 8.1: Handlungsempfehlungen mit beispielhafter Wirksignatur

räumliche Einheit	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
Ortsteil X	5	1	5	3

Tabelle 8.2: Beispielhafte Betroffenheitssignatur einer räumlichen Einheit

Die Betroffenheit einer räumlichen Einheit kann ebenfalls mit Zahlen vereinfachend klassifiziert werden (1 → keine/kaum Betroffenheit, 3 → mäßige Betroffenheit, 5 → starke Betroffenheit), was zu einer **Betroffenheitssignatur** der räumlichen Einheit führt. Es wurden die Werte 1, 3 und 5 (statt 1, 2, 3, wie bei der Wirksignatur) für die Einschätzung der Betroffenheit verwendet, um der Betroffenheit eine größere Gewichtung im Priorisierungsprozess einzuräumen. Für die **Priorisierung im JELKA** wurde auf der Basis vorhandener Grundlagendaten eine umfangreiche **Betroffenheitsanalyse** des Stadtgebietes für die genannten Klimawirkfolgen durchgeführt. Da das Auftreten von Extremereignissen (Starkregen, Sturm etc.) zeitlich und räumlich schwer bis nicht abschätzbar ist, wurden diese in die Priorisierung der Handlungsempfehlungen für die räumlichen Einheiten (Jenaer Ortsteile) nicht einbezogen. Aus den Ergebnissen dieser Analyse konnte in der Folge für jeden Ortsteil eine individuelle Betroffenheitssignatur abgeleitet werden (Tabelle 8.2).

Dabei ergab sich das Problem, sehr unterschiedliche Ortsteile in Vergleich zueinander setzen zu müssen, um eine Einordnung der jeweiligen Betroffenheiten zu erreichen. Hierfür wurden für die betrachteten Klimawirkfolgen die Betroffenheiten je Ortsteil als Flächenmittel abgeleitet und die Ortsteile über diese mittels eines Klassifizierungsverfahren (natural breaks / Jenks) einer der jeweils drei **Betroffenheitsklassen** zugewiesen. Durch die flächenhafte Mittelung ergeben sich naturgemäß Einbußen bei der Informationstiefe der Situation im jeweiligen Ortsteil. Deshalb wird empfohlen, bei Betrachtung des Ortsteils, z. B. zur Verortung von Anpassungsmaßnahmen, auch auf die Karten zur Betroffenheit durch die Klimawirkfolgen (Abbildungen 5.2, 5.7, 5.9 & 5.11) zurückzugreifen.

Betroffenheit	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion	Vergleichswert (Zeilensumme)
	5	1	5	3	
Handlungsempfehlung	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion	
HUM-05	(3*5 = 15)	(1*1 = 1)	(3*5 = 15)	(1*3 = 3)	34
FOR-06	(2*5 = 10)	(2*1 = 2)	(2*5 = 10)	(3*3 = 9)	31
NAT-09	(1*5 = 5)	(1*1 = 1)	(2*5 = 10)	(1*3 = 3)	19
...					

Tabelle 8.3: Berechnung des Vergleichswertes

Anmerkung: Die Betroffenheitssignatur wird mit der Wirksignatur aller Handlungsempfehlungen multipliziert und zum Vergleichswert aufsummiert: $Betroffenheit-Hitze * Wirkung-Hitze + Betroffenheit-Hochwasser * Wirkung-Hochwasser + Betroffenheit-Trockenheit * Wirkung-Trockenheit + Betroffenheit-Erosion * Wirkung-Erosion = Vergleichswert$

Um eine Auswahl an relevanten Handlungsempfehlungen für einen Ortsteil (räumliche Einheit) mit spezifischer Betroffenheitssituation zu erhalten, wurde die Betroffenheitssignatur des Ortsteils jeweils mit der Wirksignatur aller 118 Handlungsempfehlungen verrechnet. Dabei wurden die Produkte aus Betroffenheitssignatur des Ortsteils und Wirksignatur der Empfehlungen für jede Klimawirkfolge gebildet und aufsummiert (Tabelle 8.3). Für jede Handlungsempfehlung ergab sich somit ein **Vergleichswert**, der alle Empfehlungen in Bezug auf die Betroffenheit des Ortsteils miteinander vergleichbar macht.

Die Handlungsempfehlungen können anhand des Vergleichswertes in eine **Rangfolge** gebracht werden, wobei sich Handlungsempfehlungen mit relativ großem Vergleichswert durch eine gute Eignung auszeichnen, der Betroffenheit der räumlichen Einheit (des Ortsteils) entgegenzuwirken. Durch diese Methode der Priorisierung werden besonders jene Handlungsempfehlungen bevorteilt, die synergetisch auf verschiedene Betroffenheiten wirken (Win-Win-Maßnahmen). Einer räumlichen Einheit, die schwerpunktmäßig z. B. von Hochwasser und Erosion betroffen ist (Tabelle 8.4), werden im JELKA prioritär Handlungsempfehlungen zugewiesen, die sowohl bei Hochwasser als auch bei Erosion effektiv wirksam sind. Diejenigen Handlungsempfehlungen, die entweder gegen Hochwasser oder gegen Erosion wirksam sind, werden in der Priorisierung nachrangig eingestuft (Tabelle 8.4).

JELKA ist ein Entscheidungsunterstützungssystem, dem der erläuterte mathematische Algorithmus zugrunde liegt. Diverse Parameter, die je nach Situation von unterschiedlicher Relevanz sein können (z. B. Nachbarschaftsbeziehungen, räumliche Limitierungen, Interessen der Akteure) und nur schwer oder gar nicht operationalisierbar

sind, wurden daher nicht berücksichtigt. Der vorgestellte Priorisierungsansatz trifft eine **Vorauswahl** aus bekannten und bewährten Anpassungsoptionen als eine Basis für den folgenden gutachterlichen Abwägungsprozess.

Schritt 2- Gutachterliche Priorisierung im JELKA

Die gutachterliche Priorisierung der Handlungsempfehlungen für die Jenaer Ortsteile stützt sich auf den zuvor dargestellten automatischen Priorisierungsprozess (Schritt 1). Da dieser mathematische Algorithmus die realen Gegebenheiten eines Ortsteils (z. B. Urbanität, Art der Bebauung, Naturraum) nicht in ihrer Gänze in die Priorisierung integriert, sondern eine Vorauswahl der Handlungsempfehlungen trifft, erfolgte eine weiterführende **gutachterliche Prüfung**. Dazu wurde jede Handlungsempfehlung des automatischen Priorisierungsergebnisses anhand der Betroffenheitskarten zu den Klimawirkfolgen (Kapitel 5.1), den Ergebnissen des Deutschen Wetterdienstes (Kapitel 3.2) und des gutachterlichen Erfahrungsschatzes auf ihre Tauglichkeit hin, einen Anpassungseffekt an die belastende Klimawirkfolge zu erzielen, kontrolliert.

Die Handlungsempfehlungen wurden somit für jeden Ortsteil einer gutachterlichen Prüfung unterzogen und ihre Rangfolge in einem thematischen Block (z. B. Anpassungsoptionen gegen Wärmebelastung) nach dem Vergleichswert für den Ortsteil festgelegt. Um dem Anwender eine übersichtliche Auswahl an Handlungsoptionen vorzuschlagen, wurde die Vereinbarung getroffen, die jeweils **15 bestgeeigneten Handlungsempfehlungen** des gutachterlichen Priorisierungsergebnisses im JELKA aufzuführen.

Betroffenheit	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion	Vergleichswert (Zeilensumme)
	1	5	1	5	
Handlungsempfehlung	Hitze	Hochwasser	Trockenheit	Erosion	
FOR-06	2	2	2	3	29
LAN-02	1	2	2	2	23
HWA-03	1	3	1	1	22
MAN-16	2	1	2	1	14
...					

Tabelle 8.4: Priorisierungsbeispiel im JELKA

Inhaltliche Anmerkungen zu den Handlungsempfehlungen

Die Einstufung der Handlungsempfehlungen bzgl. **Zeithorizont, Kostenaufwand und Art der Maßnahme** wurden mehrheitlich aus dem ExWoSt-Stadtklimalotsen des BBSR (BBSR 2012) übernommen. Eine genauere Einteilung bzw. lokale Überprüfung und Anpassung wurde innerhalb des Projektes nicht realisiert, da vor allem Kostenaufwand und Zeithorizont in starkem Maße von der räumlichen und zeitlichen Skalierung der Anwendung der Handlungsempfehlung (z. B. Einzelhaus vs. Quartier vs. Gesamtstadt) abhängig ist und der Zusammenhang zudem nicht linear ist. Daher kann die Einstufung nur als erste Orientierung dienen und muss in der Detailplanung konkretisiert werden.

8.2 HANDHABUNG DES WERKZEUGS

Systemvoraussetzungen

JELKA ist ein desktopbasiertes Datenbank-Management-System, das mit dem Datenbankprogramm „BASE“ der freien Bürosoftware **OpenOffice 3.2** erstellt wurde. Zur Gewährleistung einer störungsfreien Nutzung des Programms sollte JELKA mit OpenOffice Version 3.2 oder 3.3 auf den Betriebssystemen Windows 7, XP oder Vista genutzt werden. JELKA enthält Makros, welche zum Zwecke einer vereinfachten Benutzung mehrere Anweisungen oder Deklarationen zusammenfassen, und diese mit einem einzigen Befehl bzw. Mausklick ausführen. Um die Funktionalität von JELKA zu gewährleisten, sollte die Makrosicherheit der verwendeten OpenOffice-Software auf „mittel“ (OpenOffice erbittet eine Bestätigung zur Ausführung von Makros) oder „niedrig“ (OpenOffice führt Makros ohne Rückfrage aus) eingestellt sein. Höhere Sicherheitsstufen deaktivieren automatisch die in JELKA integrierten Makros. Die OpenOffice-Makrosicherheit kann unter Extras > Optionen > OpenOffice > Sicherheit > Makrosicherheit > Sicherheitsstufe (Version OpenOffice 3.2) angepasst werden.

Navigation im JELKA

Nach Doppelklick auf die **JELKA.odb** öffnet sich das Übersichtsfenster der Datenbank. Unter dem Register „Formulare“ öffnet sich durch Doppelklicken des obersten Formulars **„Datenbank_Startseite“** die Startseite des Entscheidungsunterstützungssystems. Die Startseite gibt dem Anwender einen Überblick über die Optionen des JELKA. Dem Dreiperspektiven-Ansatz entsprechend wird eine inhaltlich differenzierte Betrachtung der Handlungsoptionen durch die drei Schaltflächen auf der linken Seite (Handlungsempfehlungen nach a) Handlungsfeldern, b) Klimawirkfolgen, c) Ortsteilen) realisiert. Nachfolgend werden alle Optionen des JELKA erläutert:

- **Handlungsempfehlungen nach Handlungsfeldern:** Dem Anwender wird die Möglichkeit gegeben, sich die Handlungsempfehlungen entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den für Jena ausgewählten Handlungsfeldern (Kapitel 5.2) anzeigen zu lassen. Die Anpassungsoptionen werden nach ihrem inhaltlichen Schwerpunkt (Siedlungs- und Bauwesen, Wasserwirtschaft und -haushalt etc.) kategorisiert und können somit die Grundlage für ein themenspezifisches Anpassungskonzept innerhalb eines Handlungsfeldes skizzieren. Die Handlungsempfehlungen können in einer Übersichtsmaske oder detailliert mit allen Informationen ausgegeben werden. Aufgrund sich überschneidender Zugehörigkeit zu verschiedenen Handlungsfeldern ist es möglich, dass Handlungsempfehlungen unter mehreren Handlungsfeldern gelistet werden, also mehrfach vorkommen.
- **Handlungsempfehlungen nach Klimawirkfolgen:** Dem Anwender wird die Möglichkeit gegeben, sich die Handlungsempfehlungen entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den für Jena relevanten Klimawirkfolgen (Kapitel 5.1) anzeigen zu lassen. Die Anpassungsoptionen werden nach ihrem Effekt auf die für Jena relevanten Auswirkungen (Hitzebelastung, Hochwasser etc.) kategorisiert und können somit die

Jenaer Entscheidungsunterstützung für Lokale KlimaAnpassung



Startbildschirm des JELKA

Grundlage für ein themenspezifisches Anpassungskonzept an eine Klimawirkfolge skizzieren. Die Handlungsempfehlungen können in einer Übersichtsmaske oder detailliert mit allen Informationen ausgegeben werden. Aufgrund synergetischer Effekte verschiedener Handlungsempfehlungen ist es möglich, dass Handlungsempfehlungen unter mehreren Klimawirkfolgen gelistet werden, also mehrfach vorkommen.

- **Handlungsempfehlungen nach Ortsteilen:** Dieser perspektivische Ansatz zeigt die Verortung und die Priorisierung von Handlungsempfehlungen für die Jenaer Ortsteile. Für jeden Ortsteil wird die ermittelte Betroffenheit (Kapitel 9.4) durch die für Jena relevanten Klimawirkfolgen dargestellt, mit der Möglichkeit, sich über die Schaltfläche „zeige Empfehlungen“ direkt Handlungsempfehlungen zur jeweiligen Klimawirkfolge anzeigen zu lassen. Die Betroffenheitssituation und empfohlene Anpassungsoptionen des Ortsteils werden zudem unter „Beschreibung“ ausführlicher erläutert. Über die zwei Schaltflächen zur Priorisierung von Handlungsempfehlungen können die Ergebnisse der automatischen und der gutachterlichen Priorisierung von Handlungsempfehlungen (Kapitel 8.1) für den jeweiligen Ortsteil eingesehen werden.
- **Gesamtkatalog der Handlungsempfehlungen:** Der Gesamtkatalog beinhaltet alle der derzeit 118 Handlungsempfehlungen mit sämtlichen Informationen. Die Navigationsleiste (oben rechts auf der Seite) bietet die Möglichkeit, zu anderen Empfehlungen zu wechseln, die Sortierung zu verändern oder Filterbefehle anzuwenden.
- **Handlungsempfehlungen hinzufügen/bearbeiten** (Nur für autorisierte Projektmitarbeiter der Stadt Jena): Mit diesem Menüpunkt bietet JELKA die Möglichkeit, den Gesamtkatalog an Handlungsempfehlungen zu bearbeiten und zu erweitern. Die Navigationsleiste beinhaltet daher zusätzliche Symbole um neue Datensätze zu erzeugen, zu speichern oder bestehende zu löschen. Der Anwender kann direkt im Datensatz Ergänzungen oder Veränderungen an den einzelnen Handlungsempfehlungen vornehmen. Das Setzen von Häkchen erfolgt dabei über die Taste „ü“. Neue Handlungsempfehlungen müssen ein Empfehlungskürzel (z. B. HUM-43) erhalten, um dauerhaft in der Datenbank erfasst zu werden. Wird vom Anwender eine Wirksignatur für eine neue Handlungsempfehlung erstellt und eingetragen, so wird die Handlungsempfehlung selbstständig in den automatischen Priorisierungsprozess des JELKA integriert und entsprechend in den Katalogen zu Klimawirkfolgen, Handlungsfeldern und Ortsteilen (hier nur „automatische Priorisierung“) ausgegeben.
- **Kartenmaterial:** Unter diesem Menüpunkt steht dem Anwender eine Auswahl an thematischen Karten zum Stadtklima (z. B. Klimakarte, Klimafunktionskarte), zur Betroffenheit durch Klimawirkfolgen (z. B. heutige und zukünftige Wärmebelastung, Hochwassergefährdung) und zur groben Verortung von Handlungsempfehlungen (Planhinweiskarte) mit jeweiligem Erläuterungstext zur Verfügung. Die Karten sind aufgrund des Speicherbedarfes nur in geringer Auflösung hinterlegt. Die hochauflösenden, druckfähigen Karten dagegen sind im Verzeichnis „Kartenmaterial“ der beiliegenden CD enthalten.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DAS STADTGEBIET

9.

Ausgehend von der Betroffenheitsanalyse und dem dabei erarbeiteten Kartenwerk wurden unter Nutzung des Entscheidungsunterstützungswerkzeugs JELKA Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die hier vorgestellten Handlungsempfehlungen stammen aus verschiedenen Quellen, wie dem Stadtklimalotsen (BBSR 2012), dem Stadtentwicklungsplan Klima Berlin (SSB 2011) oder dem Handbuch Stadtklima NRW (MUNLV NRW 2010). Sie wurden entsprechend des integrierten Ansatzes in einem **kooperativen Arbeitsprozess** abgestimmt. Dazu wurden im Sommer und Herbst 2011 Arbeitsgespräche zwischen der Stadt, der lokalen Forschungsassistenz und lokalen Akteuren zu den Themenfeldern Land- und Forstwirtschaft, Naturschutz und Grünflächen, Verkehr und Infrastruktur sowie Siedlungsentwicklung und Bauwesen durchgeführt. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen sollen die lokalen Akteure bei der Entscheidungsfindung im Klimaanpassungsprozess unterstützen. Sie sind bei Planungen im Abwägungsprozess zu berücksichtigen und dienen als Ausgangspunkt für die Ableitung und Umsetzung konkreter, verorteter Maßnahmen.

Den vertiefenden Kapiteln vorangestellt ist die gesamtstädtische Betrachtung, die die Erarbeitung der Planhinweiskarte erläutert und erste Handlungsempfehlungen umreißt. In Übereinstimmung mit dem für das Handbuch gewählten „**Drei-Perspektiven-Ansatz**“ werden im folgenden die Handlungsempfehlungen für die Ebenen „Handlungsfeld“, „Klimawirkfolge“ und „Ortsteil“ dargestellt. Dazu werden für die ersten beiden Ebenen, nach thematischen Schwerpunkten getrennt, Anpassungsoptionen vorgestellt, mit beispielhaften Handlungsempfehlungen unterlegt und, wo möglich, erste lokale Bezüge hergestellt. Auf der Ebene der Ortsteile wird abschließend versucht, Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten näher zu verorten. Auch hier muss das Ergebnis Empfehlungsscharakter behalten, da eine gezielte Verortung konkreter Anpassungsmaßnahmen etwa auf Ebene des Bebauungsplanes nur in vertiefender Begutachtung unter Berücksichtigung aller Abwägungsbelange erfolgen kann.

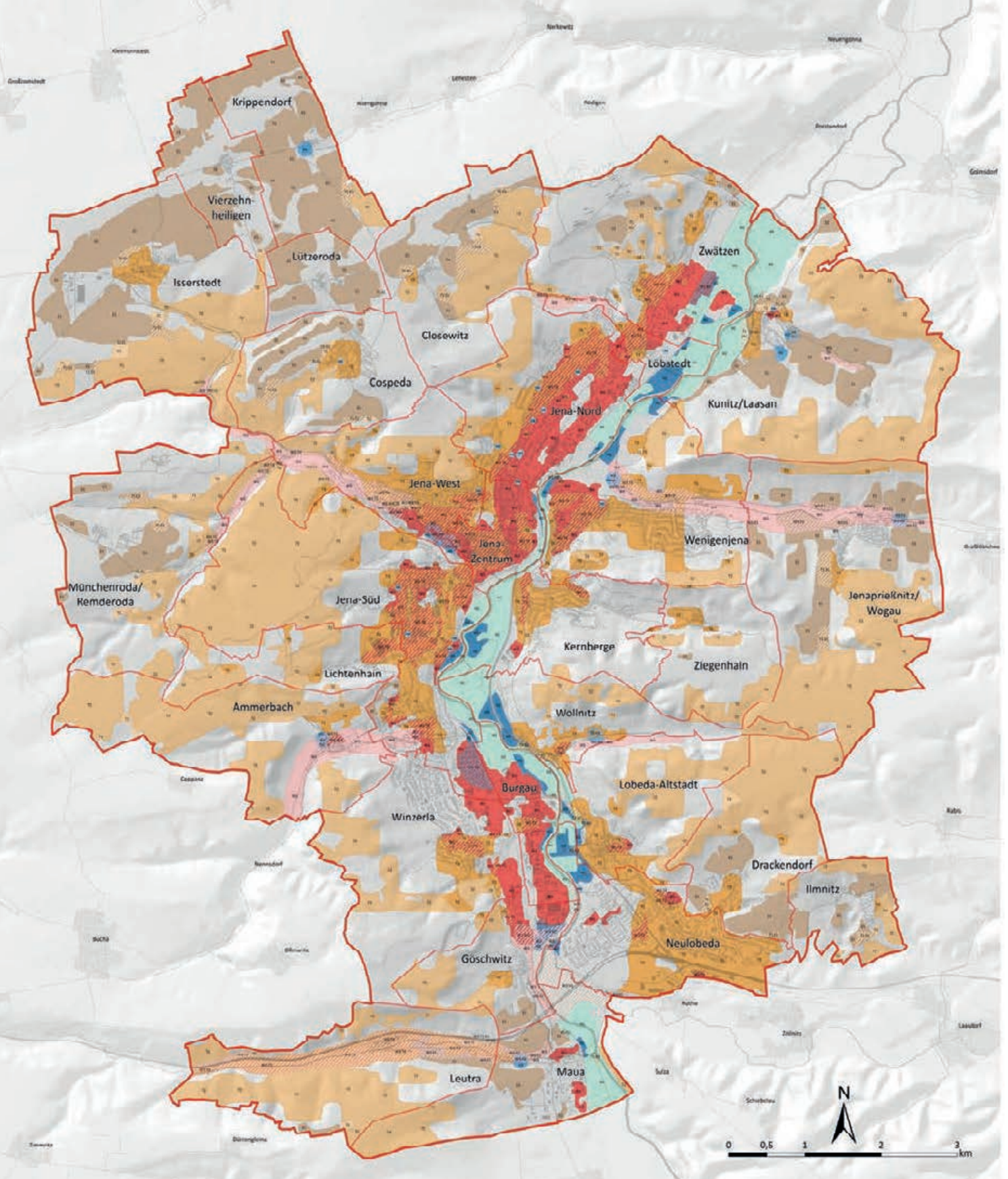
9.1 PLANUNGSHINWEISE FÜR DAS STADTGEBIET

Ableitung von Planungshinweisen

In Kapitel 5.1 wurden bereits die für Jena relevanten Betroffenheiten näher beschrieben. Dabei wurde deutlich, dass der projizierte Klimawandel in Jena keine grundsätzlich neuen Probleme verursacht, jedoch bestehende **Problemlagen** weiter verschärft. In Abbildung 5.14 sind für die vier Klimawirkfolgen Überwärmung, Trockenheit, Hochwasser und Erosion die Bereiche zusammengefasst, in denen bereits jetzt eine hohe Betroffenheit bzgl. der jeweiligen Klimawirkfolge herrscht und für die eine weitere Verstärkung künftig wahrscheinlich ist.

Die Umsetzung geeigneter Anpassungsoptionen kann die Auswirkungen des Klimawandels abschwächen und die Klimaresilienz der Stadt erhöhen. Dementsprechend wurden aufbauend auf der Betroffenheitsanalyse für die hoch betroffenen Bereiche Handlungsempfehlungen abgeleitet und im Stadtgebiet verortet. Dazu wurden in einem ersten Schritt für die zuvor identifizierten Betroffenheiten bzw. betroffenen räumlichen Einheiten (verdichtete Stadtlagen, Überschwemmungsschwerpunkte, Waldgebiete etc.) **Zielstellungen** definiert, deren Erreichung durch die Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen anzustreben ist.

Für diese elf Zielstellungen wurden **Empfehlungsgruppen** abgeleitet, die jeweils eine Reihe von Handlungsempfehlungen enthalten, die geeignet sind, nachhaltige Anpassungseffekte zu erzielen. Die Zuordnung der einzelnen Handlungsempfehlungen zu den Empfehlungsgruppen erfolgte mit Hilfe der im JELKA hinterlegten Wirksignatur (Kapitel 8.1) und gutachterlicher Einschätzung. Die aufgeführten beispielhaften **Handlungsempfehlungen** erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sind jedoch für die jeweilige Problemlage besonders gut geeignet.



Planungshinweise für das Stadtgebiet Jena

Durch den projizierten Klimawandel werden sich bestehende Problemlagen weiter verschärfen. Die Umsetzung geeigneter Anpassungsoptionen kann die Auswirkungen abschwächen und die Klimaresilienz der Stadt erhöhen. In vorliegender Planungskarte wurden auf Basis der in der Risiko-Konflikt-Karte dargestellten hohen betroffenen Gruppen von Handlungsempfehlungen für die vier klimawirksamen Wärmebelastung, Trockenheit, Hochwasser und Erosion ausgewiesen (z.B. W1, I3 oder H2). In Stadtbereichen mit verschiedenen hohen betroffenen Gruppen ergeben sich Handlungsempfehlungen mit mehreren Empfehlungsgruppen (z.B. W1 T3 oder T1 E1). Zusätzlich wurden Empfehlungen für Flächen ausgesprochen, die im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels Bedeutung haben (Kaltluftbahnen, Retentionsflächen). Die Karte besitzt Übersichtscharakter und zeigt u.a. idealisierte Grenzen klimatischer Sachverhalte mit möglichen Abweichungen zur Realität. Für tiefergehende Aussagen ist eine Detailuntersuchung angeraten.

QUELLEN: SKAT 2019 (2020, 2030, 2050), Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie (LUGG), 2002, 2006, 2008, 2010; Thüringer Landesamt für Wald, Jagd und Fischerei (2011); Deutscher Wetterdienst (2012). Erstellt im Mai 2012 durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (THINK) Jena im Rahmen des ExWoSt Forschungsprojektes "Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale" des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vervollständigungen jeder Art bedürfen der Zustimmung durch die Stadt Jena.



Problemlagen, Empfehlungsgruppen und Zielstellungen

(Für viele Bereiche der Stadt ergeben sich Kombinationen aus den grundlegenden Empfehlungsgruppen.)

Steigende Wärmebelastung

- W1** Wärmebelastung senken und Aufenthaltsqualität erhöhen
- W2** Wärmebelastung senken, Informationslage verbessern und Gesundheitsvorsorge stärken
- W3** Luftzuleitung erhalten, um Durchlüftung in belasteten Gebieten zu verbessern

Zunehmende Trockenheit

- T1** Bepflanzung prüfen, Wasserversorgung optimieren und Artenwahl anpassen
- T2** Bepflanzung prüfen, Artenwahl anpassen und Monitoring intensivieren

T3 Bepflanzung prüfen, Wasserversorgung optimieren und Artenwahl anpassen

Verstärkte Überschwemmungsgefährdung

- H1** Wasserrückhalt sichern und verbessern
- H2** Nutzungen überprüfen, gegen Hochwasser sichern oder langfristig extensivieren
- H3** Regenwasserversickerung verbessern, mögliche Auswirkungen ermitteln und Einsatzbereitschaft erhöhen
- H4** Infrastruktur ertüchtigen und Einsatzbereitschaft erhöhen

Vermehrte (Wasser-)Erosion

- E1** Bodenabtrag reduzieren

Abbildung 9.1: Planungshinweise für das Stadtgebiet Jena

Tabelle 9.1 zeigt zusammenfassend für das Stadtgebiet die Problemlagen, Zielstellungen, Empfehlungsgruppen und zugehörige beispielhafte Handlungsempfehlungen, Abbildung 9.1 die korrespondierende räumliche Verteilung der Empfehlungsgruppen (z. B. W1, T3 oder H2). Die **Planhinweiskarte** besitzt Übersichtscharakter und zeigt räumliche Abgrenzungen für Handlungsempfehlungen, die u. a. auf idealisierten Grenzen klimatischer Sachverhalte beruhen. Für tiefergehende Aussagen in Bezug auf die Umsetzung konkreter Anpassungsmaßnahmen sind Detailuntersuchung angeraten.

Wie in der Risiko-Konflikt-Karte (Abbildung 5.14) zu sehen ist, existieren Stadtbereiche, in denen sich Klimawirkfolgen zeitlich und/oder räumlich überschneiden und die damit besonders anfällig sind. Dementsprechend sind auch in der Planhinweiskarte viele Bereiche dargestellt, in denen sich **Empfehlungsgruppen überlagern** (z. B. W1 T3 oder T1 E1) und im Idealfall die Handlungsempfehlungen der verschiedenen Gruppen umzusetzen sind. Zusätzlich wurden Empfehlungen für Flächen ausgesprochen, die im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels Bedeutung erlangen (Kaltluftbahnen der Seitentäler, Retentionsflächen der Saale).

Schwerpunkte im Stadtgebiet

Insgesamt spiegeln sich die Betroffenheiten und ihre räumliche Verteilung in den Handlungsempfehlungen wieder: In den **stark überbauten Stadtlagen** (Jena-Zentrum, Jena-Nord, Jena-Süd, Jena-West, Burgau, Göschwitz, Zwätzen) sollten die Anpassungsmaßnahmen vor allem eine Senkung der Wärmebelastung und Erhöhung der Aufenthaltsqualität herbeiführen (Abbildung 9.1). Gleichzeitig ist die Informationslage und Gesundheitsvorsorge für die Bevölkerung im Vorfeld von längeren Hitzeperioden zu verbessern. Wo möglich sollte die Zuleitung von Frisch- bzw. Kaltluft, vor allem aus den Seitentälern, erhalten und stärker auf die thermisch und lufthygienisch belasteten Bereiche (innerstädtische Lasträume, Industrie-/Gewerbegebiete) ausgerichtet werden. In den stärker überbauten Bereichen fallen von Hitze betroffene Quartiere oft mit Gebieten mangelnder Wasserversorgung des städtischen Grüns in der Vegetationsperiode zusammen (z. B. Jena-Zentrum, Jena-Süd, Wenigenjena, Jena-West, Jena-Nord). Hier ist eine Überprüfung und ggf. Anpassung der Artenwahl zielführend. Zeitgleich ist eine Optimierung der Wasserversorgung von Straßenbäumen und Grünflächen anzustreben, die über keine Grundwasseranbindung verfügen, z. B. durch die bessere Nutzung von Regenwasser.

Für die zunehmend von der Wasserknappheit im Sommer betroffenen **Acker- und Forstflächen** (vor allem Closewitz, Isserstedt, Jenaprießnitz/Wogau bzw. Jena-Süd, Isserstedt, Kunitz/Laasan, Ammerbach, Leutra, Drackendorf) ist eine Überprüfung und ggf. Anpassung der Artenwahl ebenfalls zu empfehlen. Für den Forstbereich wird zudem das Waldbrandmonitoring zunehmend wichtiger. Gegen die, mit intensiveren Regenereignissen verbundene erhöhte Erosion auf den Äckern (z. B. Isserstedt, Krippendorf, Lützeroda, Vierzehnheiligen, Kunitz/Laasan, Closewitz) ist mittels Bodenschutzmaßnahmen einzuwirken (Abbildung 9.1).

Der verstärkten Überschwemmungsgefährdung ist auf mehreren Ebenen zu begegnen. Für die unbebauten Areale des **Saale-Über-**

Problemlage	Räumlicher Fokus	Besonders betroffene Klimatope	
Steigende Wärmebelastung	Verdichtete Stadtlagen	Stadt, Stadtkern, Gewerbe, Industrie	
	Einrichtungen mit sensiblen Personengruppen	Stadt, Stadtrand	
	Stadtlagen im Bereich bedeutender Kaltluftbahnen	Freiland, Gartenstadt, Kleingarten, Gewässer	
Zunehmende Trockenheit	Ackerland	Freiland	
	Wald- und Forstgebiete	Wald	
	Parks, Grünanlagen, Gärten, Straßenbäume	Gartenstadt, Stadtrand, Großsiedlung, Stadt, Stadtkern	
Verstärkte Überschwemmungsgefährdung	Unbebautes Überschwemmungsgebiet der Saale (HQ ₁₀₀)	Freiland, Grünanlagen	
	Nutzungen mit hohem Schadpotenzial im Überschwemmungsgebiet der Saale (HQ ₁₀₀)	Kleingarten, Gewerbe, Gartenstadt	
	Bekannte Problemstellen an Gewässern 2. Ordnung	Gartenstadt, Stadt	
	Bekannte Problemstellen im Kanalnetz	Stadt	
Vermehrte (Wasser-) Erosion	Ackerland	Freiland	

Tabelle 9.1: Handlungsempfehlungen für das Stadtgebiet Jena (Abbildung 9.1)

Überschwemmungsgebietes (HQ₁₀₀) ist der Wasserrückhalt in der Fläche zu sichern und wenn möglich zu vergrößern. Nutzungen im Überschwemmungsgebiet (besonders Zwätzen, Löbstedt, Kernberge, Jena-Süd, Wöllnitz, Neulobeda, Göschwitz) sollten überprüft, gegen Hochwasser gesichert oder, wenn eine Sicherung nicht möglich oder unverhältnismäßig ist, langfristig extensiviert werden.

Des Weiteren existieren verschiedentlich Lokalitäten, die in der Vergangenheit durch Überschwemmungen nach Starkregenereignissen auffielen. Stehen sie in Bezug zu **Gewässern 2. Ordnung** (z. B. Leutra am Carl-Zeiss-Platz, Wiesenbach in der Ortslage Kunitz, Gembdenbach am Campingplatz in Wenigenjena; Abbildung 9.1) können Anpassungsmaßnahmen eine Renaturierung, eine Verbesserung der

Regenwasserversickerung im Oberlauf oder eine Modellierung von Hochwasserabflüssen zur Platzierung von Hochwasserabwehrmaßnahmen beinhalten. Auch sollten Feuerwehr und Katastrophenschutz bei konvektiven Wetterlagen verstärkt einsatzbereit gehalten werden.

Handelt es sich bei der Überschwemmung um Wasseransammlungen an Einlässen des **Kanalnetzes** oder in abflusslosen Straßensenken (ersteres vor allem in Jena-Nord, letzteres z. B. an der Kreuzung Brücken- und Wiesenstraße in Zwätzen), könnten Reaktionen in der Ertüchtigung der Infrastruktur und/oder ebenfalls verstärktem Feuerwehreinsatz bestehen.

Zielstellungen	Empfehlungsgruppe	Beispiele für Handlungsempfehlungen
Wärmebelastung senken und Aufenthaltsqualität erhöhen	W1	HUM-17, HUM-05, HUM-01, HUM-02, HUM-03, HUM-04, HUM-16, HUM-20, HUM-22, HUM-24, HUM-26, MAN-10
Wärmebelastung senken, Informationslage verbessern und Gesundheitsvorsorge stärken	W2	HUM-13, HUM-07, HUM-08, HUM-09, HUM-10, HUM-15, HUM-24, HUM-22, HUM-17, HUM-03, HUM-05
Luftzuleitung erhalten, um Durchlüftung in belasteten Gebieten zu verbessern	W3	HUM-21, HUM-01, HUM-23, HUM-28, MAN-12, HUM-06
Bepflanzung prüfen, Wasserversorgung optimieren und Artenwahl anpassen	T1	LAN-07, LAN-12, MAN-21, LAN-05, LAN-02, LAN-11, LAN-08
Bepflanzung prüfen, Artenwahl anpassen und Monitoring intensivieren	T2	FOR-04, FOR-01, FOR-05, MAN-21, FOR-03
Bepflanzung prüfen, Wasserversorgung optimieren und Artenwahl anpassen	T3	MAN-19, MAN-20, MAN-21, MAN-16, MAN-13, MAN-14, HUM-26, MAN-15
Wasserrückhalt sichern und verbessern	H1	HWA-03, HWA-04, HWA-06, HWA-07, HWA-10, HWA-09
Nutzungen überprüfen, gegen Hochwasser sichern oder langfristig extensivieren	H2	HWA-02, HWA-01, HWA-03, HWA-04, HWA-06, HWA-07, HWA-10, HWA-09, HWA-14, MAN-05
Regenwasserversickerung verbessern, mögliche Auswirkungen ermitteln und Einsatzbereitschaft erhöhen	H3	HWA-02, HWA-03, HWA-06, HWA-10, HWA-15, HWA-16, MAN-32, HWA-08, MAN-01, MAN-05, MAN-09
Infrastruktur ertüchtigen und Einsatzbereitschaft erhöhen	H4	HWA-08, MAN-07, MAN-30, MAN-31, MAN-32, MAN-05
Bodenabtrag reduzieren	E1	LAN-01, LAN-03, LAN-04, LAN-02, ENE-01, HWA-12, LAN-08

9.2. EMPFEHLUNGEN FÜR DIE HANDLUNGSFELDER

Siedlungsentwicklung und Bauwesen

Für das Handlungsfeld Siedlungsentwicklung und Bauwesen lassen sich drei thematische Schwerpunkte mit Handlungsbedarf identifizieren: (1) Die thermische Entlastung von durch Überwärmung geprägten Arealen sowie die Anlage von kompakten klimaangepassten Siedlungsstrukturen, (2) die Frage nach der Bepflanzung im urbanen Raum und (3) die Gewährleistung des Hochwasserschutzes.

Städtische Überwärmung

Eine ganz wesentliche Auswirkung des Klimawandels für das Handlungsfeld Siedlungsentwicklung und Bauwesen ist in einer Zunahme der **sommerlichen Hitzeperioden** und der damit verbundenen städ-

tischen Überwärmung zu sehen (Kapitel 5.1.1, Abbildungen 5.2 und 5.3). Dies gilt insbesondere für dicht bebaute, stark versiegelte und vegetationsarme Areale wie beispielsweise dem Campus der FSU, den Gewerbe- und Fachhochschularealen an der Carl-Zeiss-Promenade oder dem Gewerbegebiet Göschwitz.

Um einer Zunahme der städtischen Überwärmung entgegenzuwirken werden im Handlungsfeld Siedlungsentwicklung und Bauwesen verschiedene Optionen zur **thermischen Entlastung** empfohlen. Dazu gehört der Erhalt bzw. die Etablierung grüner (HUM-03, HUM-04, MAN-11) und blauer (HUM-05) Strukturen (städtisches Grün und offene Wasserflächen), der Erhalt und die Förderung von Luftaustauschbahnen und Kalt- bzw. Frischluftentstehungsgebieten (HUM-01, HUM-02, HUM-28, MAN-12; Abbildung 9.1) sowie die Installation von Beschattungssystemen (HUM-24) oder die Verwendung von wenig Strahlung absorbierenden Materialien für Straßen, Plätze

und Gebäude (HUM-16). Mittel- bis langfristig sollte der Siedlungskörper eine kompakte und klimaangepasste Orientierung erfahren (ENE-02, HUM-23), indem beispielsweise die Bebauung quer zur Strömungsrichtung von Kaltluftmassen überprüft und angepasst wird (HUM-28), die energetische Gebäudesanierung gefördert wird (ENE-04, HUM-15) und Maßnahmen zur Emissionsminderung (MAN-23, MAN-24) getroffen werden.

Trockenheit

Durch die mit den zunehmenden sommerlichen Hitzeperioden verbundene Trockenheit kann die **pflanzliche Wasserversorgung** gefährdet werden, womit Hitze- und Trockenstress zu befürchten ist (Kapitel 5.1.3, Abbildung 5.9). Um die städtischen Grünanlagen diesbezüglich zu ertüchtigen wird empfohlen das Bewässerungsmanagement zu optimieren (MAN-13, MAN-14) bzw. die Bewässerung zu verstärken (MAN-19). Mittelfristig sollte das **Artenspektrum** der städtischen Grünflächen auf möglichst hitze- und trockenstress- bzw. schädlingsresistente Pflanzen hin verändert werden (MAN-16, MAN-21). Generell sind die Möglichkeiten der Erweiterung von Grünflächen aufgrund des zu erwartenden steigenden Nutzungsdrucks durch die Bevölkerung und des Abkühlungseffektes durch grüne Strukturen (Klimakomfortzonen) zu prüfen (MAN-11, MAN-12).

Hochwasserereignisse

Ob im Zuge des Klimawandels eine Zunahme der Gefährdung der Gewässer erster Ordnung durch Hochwasserereignisse für Jena zu erwarten ist, kann anhand vorhandener Daten nicht zweifelsfrei geklärt werden. Für Gewässer 2. Ordnung kann eine Zunahme der Hochwassergefährdung aufgrund des künftig höheren Potenzials für Starkregenereignisse angenommen werden (Kapitel 5.1.2). Die Handlungsempfehlungen zum **Hochwasserschutz** für das Handlungsfeld Siedlungsentwicklung und Bauwesen beinhalten daher Forderungen nach einer hochwasserangepassten Bauweise (HWA-01), der

Ertüchtigung und Sicherung von baulichen Anlagen (HWA-02) und die Verlagerung von kritischen Nutzungen (HWA-02, HWA-06) (Abbildung 9.1). Weitere Präventivmaßnahmen sehen die Einplanung bzw. Erweiterung von Retentionsflächen (HWA-04, HWA-05), den naturnahen Ausbau der Fließgewässer (HWA-10) und den verstärkten Wasserrückhalt in der Fläche (HWA-03) vor.

9.2.2 Natur- und Umweltschutz

Trockenheit

Eine Gefährdung für den Jenaer Naturraum ist vor allem durch zunehmende Trockenheit als Folge sich verstärkender sommerlicher Hitzeperioden (Kapitel 5.1.3, Abbildung 5.9) zu sehen. Einerseits wird dadurch die Waldbrandgefahr zunehmen, andererseits werden Tümpel auf den Hochflächen (z. B. FFH-Gebiet Windknollen), Feuchflächen in den Niederungen (z. B. Tongrube Wogau) oder kleinere Fließgewässer (z. B. Leutra) stärker von Austrocknung bedroht sein als bisher. Weiterhin wird die Ausbreitung von Neobiota und Schadinsekten durch geringer werdende winterliche Fröste und der aus Hitze- und Trockenstress resultierenden Schwächung der Ökosysteme begünstigt. Um dieser Entwicklung begegnen zu können, sind für das Handlungsfeld Natur- und Umweltschutz Maßnahmen angeraten, die die **Resilienz der Lebensräume**, z. B. durch Veränderung des Artenspektrums oder Verbesserung des Biotopverbundes, stärken sollen (FOR-04, NAT-07). Weiterhin sollte das **Monitoring**, insbesondere von invasiven, gesundheitsgefährdenden Arten (HUM-14, NAT-02, NAT-06), aber auch zur Prävention von Waldbränden (FOR-01) intensiviert werden. Außerdem ist es angeraten Handlungsempfehlungen umzusetzen, die auf einen besseren Schutz wertvoller Lebensräume und gefährdeter Arten (NAT-04, NAT-05) abzielen oder eine nachhaltige, naturschonende Bewirtschaftung (FOR-03, LAN-06, LAN-08, TOU-05) nahelegen.



Starkregenereignisse verstärken den Bodenabtrag in der Landwirtschaft: Acker im Ortsteil Kunitz/Laasan (Quelle: Stadt Jena 2011)

Erosion

Aus Naturschutzsicht beheimatet die Region um Jena vor allem Halbtrocken- und Trockenrasen u. a. mit bedeutenden Orchideenstandorten. Eine Klimaänderung hat wahrscheinlich nur geringen Einfluss auf diese Biotope, da deren Vegetation weitgehend an Hitze und Trockenheit angepasst ist. Eine Gefährdung einzelner Areale ist aber durch linienhafte Erosion in Folge der wahrscheinlich zunehmenden Starkregenereignisse (Kapitel 5.1.5) zu sehen. Für den Schutz der wertvollen Biotope an den Muschelkalkhängen wird daher eine **Überprüfung bestehender Pflegemaßnahmen** bzw. Biotopschutzkonzepte (NAT-04, NAT-05) angeregt.

9.2.3 Wasserwirtschaft und -haushalt

Da die **Trinkwasserversorgung** von Jena weitgehend auf tiefes Grundwasser und auf Wasser der Thüringer Fernwasserversorgung zurückgreift, scheint eine ausreichende jahreszeitliche Speicherung der auch in Zukunft ausreichenden Winterniederschläge bis in den Sommer gesichert (Kapitel 5.1.3). Klimawandelbedingte Probleme im Handlungsfeld Wasserwirtschaft und -haushalt sind schwerpunktmäßig in der Wasserqualität der Oberflächengewässer und im Hochwasserschutz zu sehen.

Wasserqualität und Gewässerökologie

Die zunehmenden sommerlichen Hitze- sowie Trockenperioden (Kapitel 5.1.1 und 5.1.3) können zu einer Verschlechterung der Wasserqualität bzw. der Gewässerökologie führen. Handlungsempfehlungen im Handlungsfeld Wasserwirtschaft und -haushalt streben daher den sparsamen **Umgang mit Trink- und Brauchwasser** (ENE-05, ENE-08, ENE-09, LAN-11, MAN-20) sowie die **Qualitätssicherung** von Trinkwasser und Oberflächengewässern (ENE-07, HUM-18, MAN-18, NAT-08) an.

Starkregenereignisse

Die wahrscheinlich zunehmenden Starkregenereignisse führen zu stärkeren Hochwässern an kleineren Vorflutern (z. B. Leutra, Roda), allerdings nicht unbedingt an der Saale (Kapitel 5.1.2). Für die kleineren Saalezuflüsse werden daher die Installation von Frühwarnsystemen (HWA-15) und Hochwassermodellierungen zur gezielten Hochwasserabwehr (HWA-16) empfohlen. Als wirksamer **Hochwasserschutz** und zur Reduzierung der Auswirkungen von Trockenperioden wird der Wasserrückhalt in der Fläche durch Grundstücksversickerung (HWA-03) empfohlen. Darüber hinaus sind generelle Maßnahmen zum Hochwasserschutz wie der Erhalt bzw. die Erweiterung von Retentionsflächen (HWA-04, HWA-05, HWA-14), der naturnahe Ausbau von Gewässern (HWA-10) und die Sicherung bzw. Verlagerung von Gebäuden und kritischer Infrastruktur (HWA-06, HWA-08) angeraten. Generell sollte die **Stadtentwässerung** entsprechend ertüchtigt bzw. im Rahmen von Erneuerungen neu dimensioniert werden (MAN-04, MAN-07, MAN-32; Abbildung 5.7).

9.2.4 Land- und Forstwirtschaft

Die Betroffenheiten, welche sich durch sich ändernde Klimabedingungen im Handlungsfeld Land- und Forstwirtschaft für Jena ergeben, sind für beide Bereiche unterschiedlich. In der Landwirtschaft sind es vor allem die Erosion des Oberbodens sowie Hitze- und Trockenstress. In der Forstwirtschaft sind es die sommerliche Trockenheit und Extremereignisse wie Windwurf und Schneebruch, mit denen zukünftig vermehrt gerechnet werden muss.

Erosion in der Landwirtschaft

Auf den landwirtschaftlichen Flächen steigt das Risiko von Boden-erosion durch sich wahrscheinlich verstärkende Starkregenereignisse (Kapitel 5.1.4). Aufgrund sich ausdehnender Trockenperioden (Kapitel 5.1.3) fallen diese Starkregen teils zunehmend auf ausgetrocknete Böden und verursachen intensiven, von starken Erosions-



Windbruch als Folge extremer Wetterereignisse
(Quelle: Gude 2007)

erscheinungen begleiteten Oberflächenabfluss. Die Umsetzung von Maßnahmen zum **Erosionsschutz** wie hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12) oder die Anlage von Hecken (LAN-01) wird daher angeraten (Abbildung 9.1) und ist bereits seit langem etablierte Praxis in der Landwirtschaft.

Hitze- und Trockenstress in der Landwirtschaft

Durch die milderen Winter besteht die Chance auf eine Ausdehnung der Vegetationsperiode. Im Gegensatz dazu ist allerdings eine Verschlechterung der **Wasserversorgung** im Frühjahr und Sommer aufgrund sich verstärkender Hitze- und Trockenperioden (Kapitel 5.1.1 und 5.1.3), außer an Standorten in der Saaleaue zu erwarten. Die Landwirtschaft wird sich somit zunehmend mit Hitze- und Trockenstress sowie einem wachsendem Risiko durch **Schädlingsbefall** konfrontiert sehen. Es ergibt sich daher ein wachsender Handlungsbedarf, die Anbauverfahren entsprechend anzupassen, z. B. durch die Verwendung von resistenterem Saatgut (LAN-07) oder durch die Erhöhung der Vielfalt der verwendeten Nutzpflanzen (LAN-05). Ebenso sollte die Effizienz der Wassernutzung überprüft (LAN-12) bzw. durch die Verwendung von Substitutionspotentialen (LAN-11) gesteigert werden. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft gibt bereits seit längerer Zeit Informationen an die Landwirte weiter, was der Klimawandel für die Landwirtschaft bedeutet und wie dem begegnet werden kann (TLL 2009, 2012).

Trockenheit und Schädlingsbefall

Für die Forstwirtschaft führen die sich verstärkenden Hitze- und Trockenperioden sowie die Verminderung der winterlichen Fröste (Kapitel 4.2) vor allem zu einer Erhöhung der Waldbrandgefahr und zu einer verstärkten Bedrohung durch Schadinsekten. Daher sollte das **Monitoring** von Schadinsekten (LAN-07) und zur Prävention von Waldbränden (FOR-01) intensiviert werden. Zudem können

die sommerlichen Trockenperioden zu einer Verschlechterung der pflanzlichen Wasserversorgung und damit zu Trockenstress führen, was Produktivitätseinbußen der Forstbestände nach sich zieht. Hier ist die langfristige Anpassung des **Artenspektrums** hin zu resistenten Beständen (FOR-04, LAN-07) vorzusehen. Zur Thematik hat die Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei zahlreiche Veröffentlichungen mit Empfehlungen für die Forstwirte herausgegeben (TLWJF 2007, 2010a, 2010b).

Wind- und Schneebruch

Außerdem kann die wahrscheinliche Zunahme von Wetterextremen (Kapitel 5.1.5) in einer Häufung von Wind- bzw. Schneebrüchen in den Jenaer Forsten resultieren. Um die Forstwirtschaft an die aufgeführten Probleme anzupassen, werden Maßnahmen des **Waldumbaus**, wie eine Veränderung des Artenspektrums hin zu resilienteren Waldgesellschaften und naturschonende Behandlungsmethoden (FOR-02, FOR-03, FOR-04) empfohlen. Insbesondere Fichtenbestände wie z. B. am westlichen Rand des Stadtgebietes südlich von Münchenroda sollten geprüft und ggf. angepasst werden.

Die Erhöhung der Jahresmitteltemperatur und folglich die Verringerung der Frostintensität und -häufigkeit behindern die Arbeit mit schwerem Gerät im Wald, so müssen Planungen von **Pflegemaßnahmen** zeitlich neu geregelt werden. Ebenso ist eine neue leichtere Technik mit geringerem Bodendruck erforderlich.

9.2.5 Verkehr und Infrastruktur

Die winterliche Erwärmung und die damit verbundene Abnahme von Frost-, Eis- und Schneetagen (Kapitel 4.2) lässt für das Handlungsfeld Verkehr und Infrastruktur im Mittel geringere Beeinträchtigungen und Schädigungen durch Schnee und Eis erwarten. Im Gegensatz dazu könnten die sich wahrscheinlich verstärkenden Extremwetterereignisse (Kapitel 5.1.5), wie Sturm, Starkschneefälle, Eisregen oder extreme Kälteperioden, zu einer Vermehrung bzw. zu

einer Intensivierung des Ausmaßes von **Schadensfällen und Verkehrsbeeinträchtigungen** im Jenaer Stadtgebiet führen. Weiterhin ist zu erwarten, dass die verstärkten sommerlichen Hitze- und Trockenperioden (Kapitel 5.1.1 und 5.1.3) eine zunehmende Beanspruchung bzw. Verschleiß bei Straßenbelägen, Energie- und Wasserleitungen, Schalt- und Steuerungsanlagen, Brücken etc. hervorrufen. Nicht zuletzt steht zu befürchten, dass auch die Infrastruktur des Gesundheitswesens aufgrund zunehmender Hitzeperioden stärker in Anspruch genommen wird.

Technische Infrastruktur

Um die Betroffenheiten, die sich durch die angeführten Klimawandelfolgen ergeben zu bewältigen, sollte die **Netz- und Siedlungsstruktur** entsprechend angepasst werden. Dazu zählen Handlungsempfehlungen, die die Reduzierung der Störanfälligkeit von Verkehrs- und Infrastruktureinrichtungen (ENE-06, HUM-23, MAN-05, MAN-24, MAN-28, MAN-30) sowie die Sicherstellung von Ver- und Entsorgungsanlagen, wie z. B. die Leitungsnetze zur Strom- und Wasserversorgung (MAN-03, MAN-06) oder das Kanalsystem der Stadtentwässerung (MAN-04, MAN-07, MAN-32), zum Ziel haben. Außerdem sollte die Sicherung gegen Hochwasser für gefährdete Verkehrsflächen und infrastrukturelle Anlagen (HWA-08, HWA-16, MAN-08, MAN-09, MAN-31, MAN-32) forciert werden.

Des Weiteren sind als Gegenmaßnahme zur zunehmenden thermischen Belastung im Handlungsfeld Verkehr und Infrastruktur auch die Möglichkeiten zur Verringerung von **Verkehrsemissionen** zu prüfen. Entsprechende Handlungsempfehlungen beinhalten z. B. die Förderung des Fuß- und Radverkehrs bzw. des öffentlichen Personennahverkehrs (MAN-24) oder das „Down-Sizing“ der Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (MAN-26).

Soziale Infrastruktur

Da die Zunahme von Hitze- und Trockenperioden nicht nur den Verkehrssektor zunehmend beanspruchen wird, sondern auch das Gesundheitswesen vermehrt mit Zeiten gesteigerter Belastung der Bevölkerung umgehen muss, sind Handlungsempfehlungen vorgesehen, die die **Einsatzbereitschaft** von Rettungskräften erhöhen (HUM-07, MAN-01, MAN-02), das Gesundheitssystem an die gesteigerten Herausforderungen anpassen (HUM-09, HUM-11, HUM-12, HUM-14, TOU-04) und das **Informationsmanagement** bei wetterbedingter Gesundheitsgefährdung (HUM-08, HUM-13, HUM-19) verbessern.

9.3 EMPFEHLUNGEN FÜR EINZELNE KLIMAWIRKFOLGEN

9.3.1 Wärmebelastung

Wie in Kapitel 5.1.1 erläutert wird, stellt die Wärmebelastung, also die Zunahme von sommerlichen Hitzeperioden, Hitzetagen und Tropennächten, die wahrscheinlich folgenschwerste Auswirkung des Klimawandels für die Stadt Jena dar. Zwar lassen sich auch positive Effekte, z. B. für die Außen- und Freizeitindustrie, projizieren, doch ist die wesentlichste Auswirkung in einem Anstieg der **bioklimatischen Belastung** der Bürger zu sehen. Eine Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit stehen zu befürchten.

Bioklimatische Belastung

Besonders in stark verdichteten und versiegelten Arealen mit geringem Vegetationsanteil und schlechter Frisch- bzw. Kaltluftversorgung (Kapitel 3.2), wie z. B. im Stadtzentrum, an der Carl-Zeiss-Promenade oder im Gewerbegebiet Göschwitz, werden sich die Belastungen am deutlichsten niederschlagen (Abbildungen 5.2 und 5.3). Um eine **thermische Entlastung** betroffener Stadtquartiere zu bewirken existiert eine Vielzahl an Handlungsoptionen, die auf



Hochwasserschutz durch Rückhaltebecken bei Ammerbach nach einem Starkregenereignis im April 1994
(Quelle: Stadt Jena)

Entsiegelung (HUM-05, HUM-17), Durchgrünung (HUM-03, HUM-20, MAN-10, MAN-11) und eine Gewährleistung der Frisch- und Kaltluftversorgung (HUM-01, HUM-02, HUM-28, MAN-12) abzielen. Gleichzeitig empfiehlt es sich, auf eine Verbesserung der Lufthygiene hinzuwirken (HUM-04, HUM-06, HUM-27, MAN-23, MAN-24, MAN-26, TOU-03), da hierdurch die gesundheitlichen Belastungen durch hohe Temperaturen evtl. verringert werden können.

Die Wärmebelastung wird sich zuerst bei sensiblen Bevölkerungsgruppen (alte und kranke Menschen, Kinder) bemerkbar machen. An Gebäuden wie Kindertagesstätten, Alten- und Pflegeheimen, aber auch Ämtern, Verwaltungseinrichtungen etc. sollten daher Maßnahmen zur **technischen Optimierung** bzw. klimaangepassten Bauweise (HUM-15, HUM-16) vorgenommen werden. Außerdem muss mit einer steigenden Auslastung von Rettungskräften, Kliniken etc. gerechnet werden. Die gesundheitliche Infrastruktur und das **Informationsmanagement** bei kritischen Wetterlagen sollten daher entsprechend angepasst bzw. optimiert (HUM-07, HUM-08, HUM-09, HUM-10, TOU-04) werden.

Stadtvegetation

Ein Anstieg der Temperaturmittelwerte bzw. -maxima kann auch bei der städtischen bzw. landwirtschaftlichen und forstlichen Vegetation zu Hitze- und Trockenstress führen (Abbildung 5.9). Auch die Bildung von bodennahem Ozon wird durch erhöhte Strahlungsintensität begünstigt (Fiedler 2000). Daher sind für das Grünflächenmanagement sowie die Land- und Forstwirtschaft Anpassungsoptionen angeraten, die auf eine Umstellung der **Pflanzenwahl** hin zu erhöhter Hitze- und Trockenresistenz (FOR-04, HUM-26, LAN-07, MAN-16) sowie einem geringeren Ozonbildungspotential abzielen (HUM-27). Empfehlungen für die Baumartenwahl finden sich z. B. bei Kuttler (2011b).

9.3.2 Hochwasser und Überschwemmungen

Für das Niederschlagsregime in Thüringen werden klimawandelbedingte Veränderungen prognostiziert, deren Auswirkungen jedoch differenziert betrachtet werden müssen. Tendenziell ist eine Verringerung der sommerlichen und eine Erhöhung der winterlichen Basisabflüsse wahrscheinlich. Ganzjährig wird mit einer Zunahme von Starkregenereignissen gerechnet (Kapitel 5.1.5).

Hochwassergefährdung an der Saale

Für die Saale ist eine Vorhersage der Hochwassergefährdung schwierig (Kapitel 5.1.2, Abbildung 5.7). Kurzfristige Maßnahmen zur Gewährleistung des **Hochwasserschutzes** sind z. B. die Steigerung des Wasserrückhalts in der Fläche durch Grundstücksversickerung, Dachbegrünung etc. (HUM-17, HWA-03, MAN-32) oder die Optimierung des Einsatz- und Informationsmanagements von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) (HUM-19, HWA-08, MAN-01). Langfristig sollte auf eine hochwasserangepasste Bauweise und die Verlagerung von kritischer Infrastruktur (HWA-01, HWA-02, HWA-06, MAN-05) sowie auf den Erhalt bzw. die Erweiterung von Retentionsflächen (HWA-04) hingearbeitet werden.

Nebengerinne und Kanalisation

Bei den Nebengerinnen der Saale (z. B. Leutra, Roda, Gembdenbach) ist ein erhöhtes Gefährdungspotential vor allem durch die wahrscheinlich vermehrt auftretenden Starkregenereignisse (Kapitel 5.1.5, Abbildung 5.7) zu sehen. Die kurzzeitigen heftigen Niederschläge können dann zu lokalen Überschwemmungen mit Schadpotenzial führen. Das wird häufig dadurch begünstigt, dass die Kapazitäten der Stadtentwässerung für derartige Abwasserspitzen nicht ausreichend dimensioniert sind. Um den Hochwasserschutz an Gewässern 2. Ordnung im Stadtgebiet an die wachsenden Herausforderungen anzupassen, wird daher z. B. empfohlen, Frühwarnsysteme zu installieren (HWA-15) und Hochwassermodellierungen zur **gezielten**

Hochwasserabwehr (HWA-16, MAN-31) durchzuführen. Auch ein naturnaher Ausbau (HWA-10) der Saale-Nebengerinne und eine Verbesserung der flächenhaften Versickerungsmöglichkeiten (HWA-03) können das Ausmaß der Folgen von Starkregenereignissen reduzieren. Weiterhin sollten die Kapazitäten der **Stadtentwässerung** überprüft und entsprechend ausgebaut (MAN-07) sowie Notentwässerungswege (MAN-09) für verschiedene Ereignisfälle definiert werden.

9.3.3 Trockenheit

Die steigenden Temperaturen und die verlängerten Hitze- und Trockenperioden werden in Zukunft zu einer Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz im gesamten Stadtgebiet von Jena führen (Kapitel 5.1.3, Abbildung 5.8). Folglich muss mit einer häufigeren und verstärkten Austrocknung des Oberbodens gerechnet werden. Vor allem für Flächen mit fehlender oder nur gering ausgeprägter Vegetationsdecke erhöht sich dadurch zusätzlich die Erosionsgefährdung. Für die Vegetation ist mit zunehmendem Trockenstress und folglich mit Produktivitäts- und Wachstumsverlusten bzw. einer erhöhten Pathogenität zu rechnen.

Trink- und Brauchwasserversorgung

Zwar scheint die Versorgung Jenas mit Trinkwasser künftig gesichert, doch könnte es zu einer erhöhten Nachfrage nach Brauchwasser aufgrund der gesteigerten Trockenheit in den Sommermonaten kommen (Kapitel 5.1.3). In jedem Fall ist es angeraten, die **Einsparmöglichkeiten** von Trink- und Brauchwasser zu nutzen (ENE-05, ENE-08, ENE-09) und die Grundwasservorkommen dauerhaft zu schützen (HUM-18). Durch die längeren Trockenperioden kann es vermehrt zu Ablagerungen in **Misch- und Abwasserkanälen** und dadurch auch zu hygienischen Beeinträchtigungen kommen, dem mit einer erweiterten Wartung der Kanalisation (MAN-04) begegnet werden sollte.

Nutzpflanzen

Während die für Jena charakteristischen Trocken- und Halbtrockenrasen von der zunehmenden Trockenheit eher profitieren (Kapitel 5.1.3), muss bei den Nutzpflanzen auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen mit Produktivitätseinbußen und erhöhter Schadanfälligkeit gerechnet werden. Empfehlungen, land- und forstwirtschaftlich genutzte Areale an die zunehmende Trockenheit anzupassen, sehen daher ein verstärktes **Monitoring** und erhöhte Einsatzbereitschaft bei Waldbrandgefahr (FOR-01), eine angepasste **Artenwahl** der Nutzpflanzen (FOR-04, LAN-07) und eine optimierte Wassernutzung (LAN-11, LAN-12) vor.

Stadtgrün

Auch das Stadtgrün wird zunehmend durch Trockenstress Beeinträchtigungen erfahren. Daher sollte die **Pflege** und ggf. der Brandschutz (MAN-13, MAN-14, MAN-15) der städtischen Grünflächen intensiviert werden. Weiterhin könnte die Bepflanzung hinsichtlich einer angepassten **Artenzusammensetzung** (MAN-16, MAN-21; Abbildung 9.1) und die Pflege hinsichtlich einer effizienteren Wassernutzung (MAN-20, MAN-32) umgestellt werden. Empfehlungen für die Baumartenwahl im urbanen Raum finden sich vor allem bei Roloff, Bonn und Gillner (2008) und im Handbuch Stadtklima NRW (MUNLV NRW 2010), für die Forstwirtschaft bei Roloff und Grundmann (2008). Auch Entsiegelung in innerstädtischen Bereichen (HUM-17, MAN-32) ist ein wirksamer Beitrag dem Trockenstress und zusätzlich der Wärmebelastung entgegenzuwirken.

9.3.4 Erosion

Erosion auf landwirtschaftlichen Flächen

Vermehrte wassergebundene Erosion ist eine Klimawirkfolge, die vor allem für die landwirtschaftlichen Flächen des Stadtgebiets (vor allem nordwestliche Hochflächen, aber auch in den Ortsteilen



Massenbewegungen sind, unabhängig vom Klimawandel, an den steilen Hängen des Saaletals keine Seltenheit (Quelle: Lerm 2008)

Kunitz/ Laasan, Jenaprießnitz/ Wogau, Maua, Münchenroda/ Remderoda, Drackendorf) ein zusätzliches Schadpotential birgt. Dadurch, dass die Intensität zukünftiger Starkregenereignisse wahrscheinlich zunehmen wird (Kapitel 5.1.5) und diese Niederschläge vermehrt auf ausgetrocknete Böden fallen werden (Kapitel 5.1.3), wird auch die Erosion auf Ackerflächen aufgrund des erhöhten Oberflächenabflusses zunehmen. Um die wachsende Erosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Flächen möglichst gering zu halten, sind Maßnahmen des **Erosionsschutzes** wie z. B. die Anlage von Hecken (LAN-01, NAT-07), der Zwischenfruchtanbau (LAN-04) oder die Ausweisung von Risikostandorten zur gezielten Anbauanpassung (LAN-02) zu treffen (Abbildung 9.1). Auch eine Beachtung geeigneter Bewirtschaftungstechniken, wie die pfluglose Bodenbearbeitung (LAN-03) oder hangparalleles Pflügen (HWA-12) können die Erosion verringern.

Linienhafte Erosion und Massenbewegungen

Aufgrund der hohen Reliefenergie in und um Jena muss unabhängig von möglichen Auswirkungen des Klimawandels auch auf nicht agrarisch genutzten Flächen mit linienhafter Erosion (Kapitel 5.1.4) bis hin zu Massenbewegungen (Kapitel 5.1.6) gerechnet werden. Um instabile Hänge und durch Massenverlagerungen (z. B. Steinschlag) gefährdete Siedlungsbereiche sowie Infrastruktur zu sichern, sollten **Erosionsschutzmaßnahmen** wie Bewaldung (ENE-01, FOR-02, FOR-06) und Hangsicherung (MAN-30) als „No regret“-Maßnahmen vorgesehen werden.

9.3.5 Extremereignisse

Trends für die Häufigkeit und die Intensität des Auftretens von Extremereignissen abzuleiten, ist eine der schwierigsten Aufgaben im Bereich der Klimawandelfolgenforschung. Aufgrund oftmals **unzureichender Datenlage** und einer zeitlich wie räumlich zu geringen Auflösung können derzeit kaum belastbare Aussagen zur zukünftigen

Entwicklung von Extremereignissen getroffen werden (Kapitel 5.1.5). Nichtsdestotrotz gilt eine Verringerung der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Starkregen, Hagel oder Sturm als unwahrscheinlich. Extremereignisse bergen ein hohes Schadpotential und sollten in der Umsetzung von Anpassungsstrategien höchste Beachtung erfahren.

Starkregenereignisse

Besonderes Augenmerk sollte auf den zumeist kleinräumigen Starkniederschlägen liegen. Diese führen zu kurzzeitigen Abwasserspitzen in den Vorflutern bzw. im Kanalnetz der Stadtentwässerung, deren Kapazitäten oftmals für derartige Wassermengen nicht ausgelegt sind (z. B. Leutraeinlauf am Carl-Zeiss-Platz). Um das Ausmaß der Folgen von Starkniederschlägen zu reduzieren, sollten die Entsorgungsanlagen der **Stadtentwässerung** bei Neubau auf ihre Dimensionierung hin überprüft und ggf. erweitert werden (MAN-07). Bereits im Zuge der Straßenplanung könnten Abflussszenarien simuliert werden, wodurch eine gezielte Setzung von Kanalisationseinläufen bzw. Hochwasserabwehrmaßnahmen (HWA-16, MAN-08, MAN-31) und die Definition von Notentwässerungswegen (MAN-09) ermöglicht würde. An Gewässern 2. Ordnung ist die Installation von Frühwarnsystemen (HWA-15) in Betracht zu ziehen. Um den Oberflächenabfluss generell zu reduzieren, sollten die Möglichkeiten der flächenhaften **Regenwasserversickerung** (HWA-03) bzw. -nutzung (MAN-32) umgesetzt werden.

Auch auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen können Starkniederschläge und Stürme große Schäden verursachen. Handlungsempfehlungen für die Land- und Forstwirtschaft zielen daher auf eine Veränderung des Artenspektrums (FOR-02, FOR-04), **Erosionsschutzmaßnahmen** (HWA-12, LAN-01) und auf eine Erhöhung der Vielfalt an eingesetzten Nutzpflanzen (LAN-05) ab.

Allgemeine Gefahrenabwehr

Generelle Vorkehrungen gegen Extremereignisse sind vor allem im Bereich des Risikomanagements bzw. Katastrophenschutzes und in der **Anpassung baulicher Infrastruktur** möglich. So könnte die **Einsatzbereitschaft** von Rettungskräften (Feuerwehr, Rettungsdienst, Katastrophenschutz) erhöht werden oder durch entsprechende Personalplanung die Umsetzung von z. B. Hochwasserabwehrmaßnahmen beschleunigt werden (HUM-07, HUM-19, HWA-08, MAN-01, MAN-02). Gebäude und bauliche Anlagen der Verkehrs- sowie der technischen Infrastruktur sollten zukünftig gegenüber Stürmen, Schneemassen, Hagel etc. angepasst ausgeführt und technisch optimiert werden (MAN-03, MAN-05, MAN-06, MAN-30, TOU-02). Für Gebäude und infrastrukturelle Anlagen in hochwassergefährdeten Gebieten ist eine Überprüfung der hochwasserangepassten Ausführung angezeigt (HWA-01). Gegebenenfalls sollten bauliche Anlagen und Infrastrukturen gesichert oder verlagert werden (HWA-02, HWA-06).

Allgemeine Gefahrenabwehr

Generelle Vorkehrungen gegen Extremereignisse sind vor allem im Bereich des Risikomanagements bzw. Katastrophenschutzes und in der **Anpassung baulicher Infrastruktur** möglich. So könnte die **Einsatzbereitschaft** von Rettungskräften (Feuerwehr, Rettungsdienst, Katastrophenschutz) erhöht werden oder durch entsprechende Personalplanung die Umsetzung von z. B. Hochwasserabwehrmaßnahmen beschleunigt werden (HUM-07, HUM-19, HWA-08, MAN-01, MAN-02). Gebäude und bauliche Anlagen der Verkehrs- sowie der technischen Infrastruktur sollten zukünftig gegenüber Stürmen, Schneemassen, Hagel etc. angepasst ausgeführt und technisch optimiert werden (MAN-03, MAN-05, MAN-06, MAN-30, TOU-02). Für Gebäude und infrastrukturelle Anlagen in hochwassergefährdeten Gebieten ist eine Überprüfung der hochwasserangepassten Ausführung angezeigt (HWA-01). Gegebenenfalls sollten bauliche Anlagen und Infrastrukturen gesichert oder verlagert werden (HWA-02, HWA-06).

9.4 EMPFEHLUNGEN FÜR EINZELNE ORTSTEILE

Ableitung von Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen für einzelne räumliche Einheiten, in diesem Fall die Ortsteile Jenas, müssen die Ausprägungen bezüglich der untersuchten Problematik und die generellen Besonderheiten der räumlichen Einheit berücksichtigen. Gleichzeitig ist es notwendig, eine reproduzierbare und für alle Einheiten vergleichbare Bewertung zu gewährleisten, was methodisch schwierig sein kann. Die vorliegenden Handlungsempfehlungen auf Ortsteilbasis wurden daher in drei Schritten ermittelt:

- **Identifikation der Betroffenheiten** im Stadtgebiet und Zuordnung der Ortsteile zu einer von drei Betroffenheitsklassen (*gering, mittel, hoch*) für die Klimawirkfolgen, zu denen flächenhafte Informationen vorliegen,
- **Automatisierte Priorisierung** aller Handlungsempfehlungen im JELKA auf Basis der im ersten Schritt erarbeiteten Betroffenheitssignatur eines jeden Ortsteils,
- **Gutachterliche Priorisierung** von 15 Handlungsempfehlungen im JELKA, die auch nicht-automatisierbare Merkmale (z. B. Nachbarschaftsbeziehungen) der Ortsteile berücksichtigen.

Die vorliegenden Handlungsempfehlungen stellen somit eine schrittweise Annäherung an eine optimale Maßnahmenliste dar. Diese erhebt nicht den Anspruch auf absolute Vollständigkeit – sie ist, was ihr Name sagt: eine **Liste mit Empfehlungscharakter**, die zudem auch im Kontext anderer Interessen und Abwägungsbelange zu betrachten ist. Die hier aufgeführten Handlungsempfehlungen stellen Anpassungsoptionen dar, die in vielen Fällen einen „Low“- oder „No Regret“-Charakter haben, somit auch bei Ausbleiben der projizierten Klimawandelauswirkungen eine positive Wirkung entfalten. Dies ist umso mehr zu betonen, als die Klimawirkfolgen in der Regel nur die Verschärfung bestehender Problemlagen bedeuten, jedoch keine vollständig neuen Probleme mit sich bringen.

Empfehlungen auf Ortsteilebene

Im Folgenden wird für die 30 Jenaer Ortsteile überblicksmäßig dargestellt, welche Betroffenheiten durch Klimawirkfolgen wahrscheinlich sind, was dies konkret vor Ort bedeutet und welche Anpassungsoptionen zur Minderung und Bewältigung der Auswirkungen zur Verfügung stehen.



Abbildung:
Ortsteil Ammerbach
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL AMMERBACH

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	hoch	gering

Im Ortsteil Ammerbach sind zukünftige klimawandelbedingte Betroffenheiten im wesentlichen durch zunehmende Trockenheit, aber auch durch Wärmebelastung und Hochwasser zu erwarten.

Vor allem in den bewaldeten Gebieten westlich und nordwestlich der Ortschaft Ammerbach muss mit einer Verschlechterung der pflanzlichen Wasserversorgung gerechnet werden (Abbildung 5.9). Für die betroffenen Wald- und Siedlungsbereiche wird daher eine Optimierung des Brandschutzes (FOR-01) und die sukzessive Umstellung der Artenzusammensetzung von Wäldern und Grünflächen (FOR-04, MAN-16, MAN-21) empfohlen.

Eine zunehmende Wärmebelastung wird für den alten Dorfkern von Ammerbach tagsüber angenommen (Abbildung 5.2). Mit einer Reduzierung der versiegelten Fläche (HUM-17) und der Schaffung von „blauen Strukturen“ (HUM-05) könnten wirksame Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Weiterhin stellt das Ammerbachtal eine wichtige Luftleitbahn zur nächtlichen Versorgung des Wohngebietes Ringwiese sowie Ammerbach selbst mit kalten und frischen Luftmassen dar (Abbildung 3.7). Der Erhalt bzw. die Erweiterung dieser Leitbahn (HUM-04, HUM-21, HUM-28) sollte daher angestrebt werden.

Nach Schneeschmelzereignissen kam es in der Vergangenheit gelegentlich an einem Zufluss des Ammerbachs zu lokalen Überschwemmungen im Ortsbereich (Abbildung 5.7). Für den Ammerbach selbst steht dies nicht zu befürchten, da im Oberlauf des Baches ein Rückhaltbecken installiert ist. Um eine zukünftige Gefährdung durch Hochwasser möglichst gering zu halten, könnten Präventivmaßnahmen, wie Hochwassermodellierung (HWA-16), Bodenentsiegelung (HWA-03) oder Gewässerrenaturierung (HWA-10) getroffen werden.



Abbildung:
Ortsteil Burgau
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL BURGAU

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	mäßig	gering	gering

In Burgau wird zukünftig vor allem aufgrund der Wärmebelastung eine Beeinträchtigung für die menschliche Gesundheit angenommen. Wie aus Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3 zu ersehen ist, kann für nahezu die gesamte Fläche Burgaus von einer zunehmenden Wärmebelastung ausgegangen werden. Insbesondere im alten Ortskern, im Bereich der Industrie- und Gewerbeflächen entlang der Göschwitzer Straße und Lobedaer Straße sollten Anpassungsoptionen an die Wärmebelastung vorgenommen werden. Für Burgau ist vor allem an Optionen gedacht, die auf Entsiegelung (HUM-17), die Etablierung „grüner und blauer Strukturen“ (HUM-02, HUM-05, HUM-22) und ein verbessertes Informationsmanagement (HUM-13) bei kritischer Wetterlage hin abzielen. Weiterhin sollten Gebäude technisch optimiert (HUM-15, HUM-16), die Bepflanzung modifiziert (HUM-26, HUM-27) und die Schaffung von Beschattungsmöglichkeiten (HUM-24) überprüft werden. Zudem erfüllt die Saaleaue die wichtige Funktion einer Kalt- bzw. Frischluftzufuhr Burgaus und der sich nördlich anschließenden Bereiche mit Kalt- und Frischluft (Abbildung 3.7). Diese Funktion sollte aufrechterhalten und nach Möglichkeit gestärkt werden (HUM-01, HUM-02, HUM-04).

Die nördlichen Saaleauen des Ortsteils Burgaus sind wichtige Retentionsflächen für Saalehochwässer (Abbildung 5.7). Der Erhalt und ggf. eine Erweiterung (HWA-04) der Retentionsflächen und ihrer natürlichen Struktur (HWA-10) stellt somit einen elementaren Beitrag zum Hochwasserschutz für das gesamte Stadtgebiet dar.



Abbildung:
Ortsteil Closewitz
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL CLOSEWITZ

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	mäßig	mäßig

Im Ortsteil Closewitz werden sich die projizierten klimawandelbedingten Betroffenheiten wahrscheinlich in relativ geringem Maße, durch Trockenheit und Erosion, auswirken.

Sommerliche Trockenheit wird sich vermutlich am deutlichsten in den östlich von Closewitz gelegenen Waldgebieten am Jägersberg auswirken (Abbildung 5.9). Die Handlungsempfehlungen für Closewitz sehen daher eine verstärkte Waldbrandvorsorge (FOR-01) und eine Umstellung der Artenzusammensetzung (FOR-04, LAN-07) vor. Mit verstärkten Erosionserscheinungen muss auf den landwirtschaftlichen Flächen im Norden des Ortsteils und auf den Halbtrockenrasen des NSG „Windknollen“ gerechnet werden (Abbildung 5.11). Zum Schutz vor Erosion auf den landwirtschaftlichen Flächen könnten z. B. Hecken gesetzt (LAN-01), der Zwischenfruchtanbau eingeführt (LAN-04), oder bodenschonende Kulturtechniken (LAN-03) sowie hangparalleles Bewirtschaften (HWA-12) angewendet werden. Die Naturschutzkonzepte sollten aufgrund der steigenden Herausforderungen z. B. durch Erosionserscheinungen überprüft und entsprechend angepasst werden (NAT-05).

Die Acker- und Grünlandflächen des Ortsteils Closewitz sind ein bedeutsames Kalt- bzw. Frischluftentstehungsgebiet, das Rautal eine wichtige Leitbahn für Kalt- bzw. Frischluftmassen zu den Ortsteilen Löbstedt und Zwätzen (Abbildung 3.7). Die genannten Landschaftsstrukturen sollten daher entsprechend erhalten und in ihrer Entwicklung gefördert werden (HUM-01, HUM-04).



Abbildung:
Ortsteil Cospeda
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL COSPEDA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	mäßig	hoch

Für den Ortsteil Cospeda lässt sich im wesentlichen eine klimawandelbedingte Gefährdung durch Erosion und Trockenheit identifizieren. Ein Abtrag des Oberbodens wird voraussichtlich auf den Ackerflächen zunehmen (Abbildung 5.11). Um dieser Erosionsgefährdung zu begegnen, werden dem Ortsteil Cospeda Handlungsempfehlungen angeraten, die z. B. die Anlage von Hecken (LAN-01), die Ausweisung von Risikostandorten zur gezielten Anbauanpassung (LAN-02) und eine Umstellung der Bewirtschaftungstechnik (HWA-12, LAN-03, LAN-04) beinhalten. Auch Bewaldung (ENE-01, FOR-06) ist evtl. in Betracht zu ziehen.

Eine Verminderung des Wasserangebots wird sich vor allem in der Ortschaft Cospeda selbst, aber auch an den Hängen des Mühltales bemerkbar machen (Abbildung 5.9). Für die örtlichen Grünflächen ist daher häufigeres Bewässern (MAN-19) und eine Umstellung der Bepflanzung (MAN-21), für die Waldgebiete das Ausweisen von Risikostandorten (FOR-05) und eine Veränderung des Artenspektrums (FOR-04) angeraten.



Abbildung:
Ortsteil Drackendorf
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL DRACKENDORF

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	gering	hoch	hoch

Eine zukünftige Beeinträchtigung des Ortsteils Drackendorf geht insbesondere von den Klimawirkfolgen Trockenheit und Erosion, aber auch von einer mäßig zunehmenden Wärmebelastung aus.

Die Erosionsgefährdung ist vor allem auf den Acker- und Gartenflächen nördlich („Kurzer Grund“) und südlich der Ortschaft Drackendorf von großer Bedeutung (Abbildung 5.11). Hier sollten entsprechende Erosionsschutzmaßnahmen, wie die Anlage von Hecken (LAN-01) und die Umstellung von Bewirtschaftungstechniken (HWA-12, LAN-03, LAN-04) erwogen werden.

Künftig von zunehmender Trockenheit betroffene Gebiete des Ortsteils Drackendorf sind der alte Dorfkern sowie die südlichen Bereiche der „Wöllmisse“ (Abbildung 5.9). Die Handlungsempfehlungen für Drackendorf, die darauf abzielen das Ausmaß der Folgen von zunehmender Trockenheit abzuschwächen, beinhalten im wesentlichen eine Erhöhung des Pflege- bzw. Kontrollaufwandes von Wald- bzw. Grünflächen (FOR-01, MAN-15) und eine Veränderung des Artenspektrums hin zu trockenresistenteren und hitzebeständigeren Arten (FOR-04, LAN-07, MAN-21).

Auch einer wachsenden Wärmebelastung im Bereich des alten Dorfkerns (Abbildung 5.2) sollte durch Schaffung und Erhalt „grüner und blauer Strukturen“ (HUM-05, HUM-22) begegnet werden. Zudem ist die Bedeutung Drackendorfs als Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet bzw. -leitbahn nicht unerheblich (Abbildung 3.7). Die lufthygienischen Funktionen sollten daher durch entsprechende Freihaltung (HUM-01, HUM-04, HUM-28) bewahrt werden.



Abbildung:
Ortsteil Göschwitz
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL GÖSCHWITZ

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	mäßig	mäßig	mäßig

Göschwitz sieht sich durch ein breites Spektrum zukünftiger klimawandelbedingter Betroffenheiten gekennzeichnet.

Vor allem mit gesundheitlichen Belastungen durch zunehmende Temperaturen bzw. sommerliche Hitzeperioden muss in Zukunft gerechnet werden. Das betrifft insbesondere die Industrie- und Gewerbegebiete entlang der Göschwitzer Straße und am alten Zementwerk, den Göschwitzer Bahnhof und teilweise den alten Dorfkern (Abbildung 5.2). Zur Minderung des Ausmaßes der Folgen von Überwärmung am Tage sollte in den angesprochenen Arealen der Grad der Versiegelung gemindert (HUM-17), Beschattungsmöglichkeiten installiert (HUM-24) und sowohl „grüne“, als auch „blaue Strukturen“ (HUM-03, HUM-05, HUM-22) geschaffen werden. Zudem sollte in Göschwitz darauf geachtet werden, dass das Eindringen von nächtlichen Kalt- und Frischluftmassen in den Siedlungskörper nicht durch quer zur Strömungsrichtung orientierte Bebauung verhindert (HUM-28) wird. In Göschwitz befinden sich bedeutsame Retentionsflächen für mög-

liche Saalehochwässer (Abbildung 5.7), in denen teilweise auch kritische Infrastruktur (z. B. Bahnanlagen) angesiedelt ist. Gefährdete Gebäude und Infrastruktur sollten daher entsprechend geschützt oder verlagert (HWA-02), die Retentionsflächen unbedingt erhalten und nach Möglichkeit ausgeweitet (HWA-04) werden.

Die sommerliche Trockenheit wird voraussichtlich an den Hängen des Mönchsbergs zukünftig zunehmen (Abbildung 5.9). Zur Vermeidung von z. B. Waldbränden sollten forstliche Pflege- und Kontrollmaßnahmen intensiviert (FOR-01) und die Resilienz der Waldgesellschaften gestärkt (FOR-04) werden.

Im Zuge der Trassenverlegung der BAB 4 ist eine Abschätzung des Erosionspotentials im Süden des Ortsteils derzeit ungewiss.



Abbildung:
Ortsteil Ilmnitz
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL ILMNITZ

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	hoch	hoch

Der Ortsteil Ilmnitz wird sich zukünftig hauptsächlich mit Betroffenheiten durch zunehmende sommerliche Trockenheit und Erosionsgefährdung konfrontiert sehen.

Das Wasserangebot in der Vegetationsperiode wird sich voraussichtlich an den Südhängen des Einsiedlerberges und im Bereich der Wald- und Ackerflächen im Südosten des Ortsteils verringern (Abbildung 5.9). Der Landwirtschaft in Ilmnitz wird daher empfohlen, das Spektrum verwendeter Nutzpflanzen hin zu trockenresistenteren Arten zu verändern (LAN-07), die Bewässerung zu optimieren (LAN-12) und Substitutionspotentiale für Brauchwasser zur Feldberegnung zu nutzen (LAN-11). Auch auf den Wald- und Grünflächen sollte die Artenzusammensetzung überprüft (FOR-04, MAN-21) und das Monitoring intensiviert werden (FOR-01).

Eine Erosionsgefährdung besteht für die Ackerflächen mit hoher Reliefenergie und somit für weite Teile von Ilmnitz (Abbildung 5.11). Um dem zunehmenden Oberbodenabtrag entgegen zu wirken, sollten zahlreiche Optionen zum Erosionsschutz eingeleitet werden. Dazu zählt z. B. die Einführung des Zwischenfruchtanbaus (LAN-04) oder die Umstellung von Bewirtschaftungstechniken (HWA-11, HWA-12, LAN-03). Auch eine Bewaldung (ENE-01, FOR-06) sollte auf Flächen mit geringem Konfliktpotential in Betracht gezogen werden.



Abbildung:
Ortsteil Isserstedt
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL ISSERSTEDT

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	gering	hoch

Für den Ortsteil Isserstedt ist zukünftig mit einer Zunahme der Intensität von Erosionsereignissen zu rechnen. Indirekt beeinflusst Isserstedt jedoch auch das Ausmaß anderer Klimawirkfolgen in den innerstädtischen Bereichen von Jena, weshalb hier bereits erste Vorsorgemaßnahmen getroffen werden sollten.

Vor allem für die landwirtschaftlichen Flächen im Norden und Westen des Ortsteils wird die Erosionsgefährdung als äußerst hoch eingeschätzt (Abbildung 5.11). Es sollten daher vielfältige Möglichkeiten des Erosionsschutzes ergriffen werden, wie z. B. die Einführung des Zwischenfruchtanbaus (LAN-04), die Anwendung bodenschonender Techniken (LAN-03), hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12) und die Anlage von Erosionsschutzhecken (ENE-01, LAN-01, NAT-07).

Eine Verringerung Wasserangebots wird für die bewaldeten Areale des Isserstedter Grunds bzw. Schneckenbergs und den Ortskern von Isserstedt in der Vegetationsperiode angenommen (Abbildung 5.9). Es wird daher empfohlen, das Monitoring zu erhöhen (FOR-01) und die Bepflanzung sukzessive an die zunehmende Trockenheit anzupassen (FOR-04, MAN-21).

Die Acker- und Grünlandflächen sind ein wichtiges Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet, dessen Luftmassen über das Mühlthal in die wärmebelasteten Innenstadtbereiche strömen und diese abkühlen und mit Frischluft versorgen (Abbildung 3.7). Diese Flächen sollten daher erhalten und nach Möglichkeit erweitert werden (HUM-04, HUM-21).

Eine Hochwassergefährdung ist für den Ortsteil Isserstedt zwar nicht gegeben (Abbildung 5.7), dennoch können hier erste Hochwasserpräventivmaßnahmen (z. B. HWA-15) getroffen werden, da Isserstedt Quellgebiet der Leutra ist, welche in der Vergangenheit des öfteren lokale Hochwässer in der Jenaer Innenstadt hervorgerufen hat.



Abbildung:
Ortsteil Jena-Nord
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL JENA-NORD

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	mäßig	mäßig	gering

In Jena-Nord muss zukünftig aufgrund des Verdichtungsgrades und der großen Bevölkerungszahl des Ortsteils vor allem mit einer Zunahme der gesundheitlichen Beeinträchtigungen gerechnet werden. Die zunehmende Wärmebelastung wird sich voraussichtlich in den verdichteten Wohnquartieren entlang der Dornburger und teilweise Camburger Straße sowie im Industrie- und Gewerbegebiet „Saalepark“ am deutlichsten zeigen (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Innerhalb dieses kritischen Bereiches ist eine Vielzahl sensibler Nutzungen (Kindertagesstätten, Schulen, Pflegeheim) angesiedelt. Um Jena-Nord an die steigenden gesundheitlichen Beanspruchungen anzupassen, könnte z. B. der Anteil offener Wasserflächen (HUM-05) erhöht werden. Auch Entsiegelung (HUM-17) und Dach-, Hof- sowie Fassadenbegrünungen (HUM-22) fördern die lokale Abkühlung wärmebelasteter Bereiche. Weiterhin sollte die Baustruktur insbesondere bei öffentlichen Gebäuden und bei Gebäuden mit sensibler Nutzung technisch optimiert und zukünftig klimawandelangepasst ausgeführt werden (HUM-15, HUM-16, HUM-23). Außerdem sollte daran gedacht werden, dem steigenden Nutzungsdruck auf Grün- und Freiflächen durch die Bevölkerung gerecht zu werden (HUM-04, MAN-11) und das Informationsmanagement bei bioklimatischen Belastungssituationen zu verbessern (HUM-08, HUM-19).

In Jena-Nord, östlich des Saaleparks, befinden sich wichtige Retentionsflächen für ein mögliches Saalehochwasser (Abbildung 5.7), die entsprechend freigehalten und nach Möglichkeit ausgeweitet (HWA-04) werden sollten. Außerdem sollten die Kapazitäten der Stadtentwässerung überprüft und vergrößert werden (MAN-07), da es in Jena-Nord in der Vergangenheit bereits häufiger zu lokalen Überflutungen nach Starkregenereignissen gekommen ist.

Mit zunehmender Trockenheit ist vermehrt in den besiedelten Hanglagen des Ortsteils zu rechnen (Abbildung 5.9). Eine Anpassungsoption stellt die sukzessive Verwendung von trockenresistenten Arten bei der Bepflanzung von Grünflächen (MAN-16) in diesem Gebiet dar. Eine potentielle Erosionsgefährdung ist für die steilen Hangbereiche oberhalb der besiedelten Areale gegeben (z. B. Munketal, Euletal). An besonders gefährdeten Stellen könnte eine Bewaldung (FOR-06) in Betracht gezogen werden.



Abbildung:
Ortsteil Jena-Süd
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL JENA-SÜD

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	hoch	hoch	gering

In Jena-Süd ist die Betroffenheit durch Klimawirkfolgen in starkem Maße gegeben. Eine wesentliche Gefährdung ist in der zunehmenden Wärmebelastung zu sehen, die sich vor allem für die Wohnquartiere beiderseits von Magdelstieg und Westbahnhofstraße sowie die Industrie- und Gewerbeflächen an Tatzendpromenade und Mühlenstraße lokalisieren lässt (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Eine Vielzahl an Kindertagesstätten, Pflegeheimen und Kliniken befindet sich in bzw. in direkter Nachbarschaft zu diesen kritischen Bereichen. Um der zunehmenden Wärmebelastung entgegen zu wirken, sollte vor allem im Bereich der sensiblen Nutzungen die Schaffung „blauer und grüner Strukturen“ (HUM-03, HUM-05, HUM-22) forciert werden und das Informationsmanagement, z. B. durch Aufklärung der Bevölkerung zu hitzeangepasstem Verhalten (HUM-08), optimiert werden. Auch zur Reduzierung der lufthygienischen Belastungssituation sollten Maßnahmen ergriffen werden (HUM-04).

Die Hochwassergefährdung von Jena-Süd ist ebenfalls als hoch einzustufen. Das Überschwemmungsgebiet der Saale im Falle eines HQ100-Hochwassers umfasst einige Bereiche des Ortsteils (Abbildung 5.7), darunter auch Wohngebiete und Industrie- und Gewerbeflächen (z. B. Ringwiesen-Siedlung). Die bestehenden Retentionsflächen sollten in jedem Fall erhalten (HWA-04, HWA-07) und gefährdete Bau- und Infrastruktur auf ihre hochwasserangepasste Bauweise überprüft werden (HWA-02, HWA-06). Auch aufgrund unzureichender

Dimensionierung der Kanalisation kam es in der Vergangenheit nach Starkregenereignissen gelegentlich zu Überschwemmungen, z. B. im Bereich der Kahlaischen Straße oder am Magdelstieg (Abbildung 5.7). Die Entsorgungsanlagen der Stadtentwässerung sollten geprüft und ggf. neu dimensioniert werden (MAN-07). Gleichzeitig ist die flächenhafte Regenwasserversickerung bzw. -nutzung (MAN-32) wo möglich zu verstärken.

Auch die zunehmende Trockenheit stellt ein großes Problem für Jena-Süd dar. Die Areale, bei denen eine Verknappung des Wasserangebots in der Vegetationsperiode zu befürchten steht, erstrecken sich beinahe über den gesamten Ortsteil (Abbildung 5.9). Dabei können im wesentlichen zwei Schwerpunkte identifiziert werden: Bereiche mit verdichteter Bebauung (z. B. Wohnquartiere, ehemaliges Zeiss-Werksgelände) und die Waldflächen westlich der besiedelten Areale (Tatzend, Paulsberg). Bei letzteren sollte der Brandschutz durch verstärktes Monitoring und Einsatzbereitschaft (FOR-01) erhöht werden und langfristig auf eine veränderte Artenzusammensetzung (FOR-04) hingearbeitet werden. Auch beim Stadtgrün sollte sukzessive auf trockenresistente Arten (MAN-16) umgestellt und das Bewässerungsmanagement optimiert (MAN-20) werden.



Abbildung:
Ortsteil Jena-West
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL JENA-WEST

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	mäßig	hoch	gering

Klimawandelbedingte Betroffenheiten sind für Jena-West insbesondere während der sich häufenden sommerlichen Hitze- und Trockenperioden zu erwarten.

Vor allem in Arealen mit verdichteter Bebauung, hohem Versiegelungsgrad und geringem Grünanteil (Quartiere zwischen Leutra und B7, Max-Wien-Platz etc., siehe Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3) muss zukünftig mit einer Zunahme gesundheitlicher Beschwerden für die Bevölkerung aufgrund einer steigenden Wärmebelastung gerechnet werden. Zudem ist eine Vielzahl sensibler Nutzungen (Kindertagesstätten, Pflegeheime) innerhalb dieser kritischen Bereiche vorzufinden. Es empfiehlt sich daher, Strukturen mit hohem Grünanteil (HUM-22) oder offenen Wasserflächen (HUM-05) zu etablieren und die Bevölkerung im Vorfeld längerer Hitzeperioden über angepasstes Verhalten zu informieren (HUM-08).

Das Mühlthal in Jena-West erfüllt die Funktion einer bedeutsamen nächtlichen Luftleitbahn zur Versorgung von wärmebelasteten und lufthygienisch beeinträchtigten Innenstadtbereichen (sowie Jena-West selbst) mit Kalt- und Frischluft (Abbildung 3.7). Um die nächtliche Durchlüftung zu fördern, sollte diese bedeutende Luftleitbahn erhalten bzw. nach Möglichkeit erweitert (HUM-04, HUM-28) und die lufthygienischen Beeinträchtigungen in diesem Bereich möglichst vermieden (HUM-21) werden.

Neben erhöhter Wärmebelastung ist vor allem eine Zunahme der Trockenheit in Jena-West wahrscheinlich. Das betrifft in erster Linie die Vegetation ohne Grundwasseranbindung in den besiedelten Bereichen sowie die südexponierten Waldhänge (Abbildung 5.9). Bei Neuanpflanzungen auf Grünflächen und in Wäldern sollten daher möglichst trockenresistente Arten (FOR-04, MAN-16) verwendet werden. Aufgrund des zunehmenden Bewässerungsbedarfs sollte der Einsatz alternativer, wassersparender Techniken (MAN-20) überprüft werden. An der Leutra ist es in der Vergangenheit des öfteren nach Starkregenereignissen zu lokalen Überschwemmungen gekommen (Abbildung 5.7), wodurch es auch zu Schäden in den Anlieger-Ortsteilen (Jena-West und Jena-Zentrum) gekommen ist. Da die Intensität zukünftiger Starkregenereignisse vermutlich zunehmen wird (Kapitel 5.1.5), muss auch mit einem erhöhten Schadpotential gerechnet werden. Um dieser Entwicklung zu begegnen, sollten entsprechende Präventivmaßnahmen, wie die Installation kleinerer Frühwarnsysteme (HWA-15) an Ober- und Mittellauf der Leutra oder Hochwassermodellierungen zur gezielten Hochwasserabwehr (HWA-16) getroffen werden. Auch eine erweiterte Renaturierung des Gewässers (HWA-10) und eine Reduzierung des Oberflächenabflusses durch Grundstücksversickerung (HWA-03, MAN-32) sind effiziente Optionen zur Minderung des Ausmaßes von Überschwemmungen nach Starkregenereignissen.



Abbildung:
Ortsteil Jena-Zentrum
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL JENA-ZENTRUM

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	mäßig	mäßig	gering

Aufgrund des hohen Versiegelungsgrades und der stark verdichteten Bebauung ist in Jena-Zentrum in Zukunft vor allem mit einer erhöhten Wärmebelastung zu rechnen.

Prinzipiell ist das gesamte Stadtzentrum, mit Ausnahme der von Vegetation bestandenen Flächen, durch zunehmende Wärmebelastung gefährdet (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Zwar fungieren die relativ großen Grünflächen (Botanischer Garten, Saaleaue) als Kaltluftentstehungsgebiet (Abbildung 3.7), jedoch ist deren Reichweite zu begrenzt, um einen abkühlenden Effekt auf größere Innenstadtbereiche zu erzielen. Diese zusammenhängenden Grünflächen sollten erhalten bleiben (HUM-02, HUM-21), da sie als begrünte und entsiegelte Areale der Ausweitung städtischer Wärmeinseln entgegenwirken (HUM-17), Frischluft generieren (HUM-21) und gleichzeitig als Erholungsflächen für die Bevölkerung (MAN-11) während Hitzeperioden dienen. In den verdichteten Bereichen des Zentrums sollte, besonders im Zuge von Neubebauungen, darauf geachtet werden, den Anteil „blauer und grüner Strukturen“ (HUM-05, HUM-22) zu erhöhen und gleichzeitig Pflanzenarten zu verwenden, die möglichst keine Ozonvorläufermoleküle produzieren (HUM-27). Außerdem sollten insbesondere öffentliche Gebäude und Gebäude mit sensiblen

Nutzungen (Kindertagesstätten, Kliniken) eine architektonische Anpassung (HUM-15) erfahren und ausreichende Beschattungsmöglichkeiten wie Markisen erhalten (HUM-24). Weiterhin sollte die Bevölkerung an Tagen mit kritischer bioklimatischer Belastungssituation gewarnt werden (HUM-13).

Zunehmende sommerliche Trockenheit wird auf den innerstädtischen Grünflächen (insbesondere in dem Bereich zwischen Leutra-, Fürsten-, Lödber- und Teichgraben) wahrscheinlich zu vermehrtem Trockenstress führen (Abbildung 5.9). Die Zusammensetzung des Stadtgrüns sollte daher zukünftig mehr trockenresistente Arten integrieren (MAN-16). Außerdem muss mit einem erhöhten Bewässerungsbedarf gerechnet werden (MAN-19).

Der Leutraeinlauf am Carl-Zeiss-Platz ist ein Hochwasserschwerpunkt an Gewässern 2. Ordnung (Abbildung 5.7). Um Schäden durch Überflutungen möglichst gering zu halten, könnten Hochwassermodellierungen zur effektiven Platzierung von Kanalisationseinläufen (MAN-31) bzw. zur Installation geeigneter Hochwasserabwehrmaßnahmen (HWA-16) vorgenommen werden. Darüber hinaus ist es angeraten, Notentwässerungswege zu definieren (MAN-09).



Abbildung:
Ortsteil Jenapriessnitz/
Wogau (Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL JENAPRIESSNITZ/WOGAU

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	mäßig	hoch

Für den Ortsteil Jenapriessnitz-Wogau ist ein breites Spektrum an klimawandelbedingten Betroffenheiten, vor allem aber durch Erosion, für die Zukunft zu erwarten.

Ein hohes wassergebundenes Erosionspotenzial lässt sich für die landwirtschaftlichen Flächen des Ortsteils feststellen (Abbildung 5.11). Besonders gefährdete Standorte könnten entsprechend ausgewiesen werden (LAN-02) um eine spezifische Anbauanpassung ableiten zu können. Auch die Anlage von Erosionsschutzhecken (LAN-01), hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12) und veränderte Behandlungsmethoden (LAN-03, LAN-04) sind elementare Erosionsschutzmaßnahmen. Auf Flächen mit hoher Erosionsgefährdung und nur geringen Nutzungsinteressen sollte auch Bewaldung (ENE-01, FOR-06) zum Schutz vor Erosion in Betracht gezogen werden.

Der Ortsteil Jenapriessnitz/Wogau umfasst ein wichtiges Kaltluftentstehungsgebiet (Langer Grund, Wöllmisse) und zugleich mit dem Gembdental eine bedeutsame Luftleitbahn (Abbildung 3.7). Die Freiflächen des Ortsteils haben somit eine Bedeutung für die nächtliche Kalt- und Frischluftzufuhr des zentralen östlichen Jenaer Stadtberei-

ches und des Ortsteils selbst. Sie sollten daher erhalten bleiben und nach Möglichkeit ausgeweitet werden (NAT-01). Bei Bebauung sollte eine angepasste Ausführung berücksichtigt werden (HUM-28) und lufthygienische Beeinträchtigungen minimiert werden (HUM-21).

Negative Auswirkungen durch Trockenheit sind vor allem für die bewaldeten Flächen im Süden des Ortsteils (Wöllmisse) zu befürchten (Abbildung 5.9). Hier sollte auf eine Steigerung der Trockenresistenz innerhalb der Pflanzengesellschaften (FOR-04) und auf eine Erhöhung des Pflege- und Kontrollaufwands (FOR-01) hin abgezielt werden.

Der Gembdenbach führte in der Vergangenheit östlich der Ortslage Wogau zu Überschwemmungen. Zur Minderung des Gefährdungspotentials sollten die Möglichkeiten des Wasserrückhalts in der Fläche verbessert werden (HWA-03, MAN-32).



Abbildung:
Ortsteil Kernberge
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL KERNBERGE

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	gering	gering

Im Ortsteil Kernberge sind klimawandelbedingte Betroffenheiten nur in relativ geringem Maße, durch Wärmebelastung in den verdichteten Wohnquartieren und durch Hochwässer in der Oberaue, zu sehen. Die von mäßig zunehmender Wärmebelastung betroffenen Areale im Ortsteil Kernberge lassen sich hauptsächlich entlang der Friedrich-Engels-Straße sowie der Wöllnitzer Straße lokalisieren (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Um die gesundheitlichen Belastungen der Bevölkerung während zukünftiger Hitzeperioden möglichst gering zu halten, sollte der Anteil „grüner und blauer“ Strukturen (HUM-05, HUM-20, HUM-26) in den verdichteten Arealen erhöht und der Anteil versiegelter Flächen vermindert (HUM-17) werden.

Der Ortsteil Kernberge hat Bedeutung für die nächtliche Zuleitung von Kalt- und Frischluft aus dem Ziegenhainer Tal zur Innenstadt (Abbildung 3.7). Der Erhalt bzw. die Erweiterung von zusammenhängenden Freiflächen (HUM-01, HUM-02, HUM-04, HUM-21) ist somit von Bedeutung für die Lufthygiene bzw. die nächtliche Abkühlung im Ortsteil Kernberge und in der Innenstadt. Auch im Hinblick auf einen sich erhöhenden Nutzungsdruck durch die Bevölkerung auf Grün- und Freiflächen während Hitzeperioden, sollten diese erhalten und evtl. hinsichtlich der Erreichbarkeit besser vernetzt werden (MAN-11).

Die Oberaue im Westen des Ortsteils Kernberge ist ein wichtiges Retentionsgebiet im Fall von Saalehochwässern (Abbildung 5.7). Die Retentionsflächen sollten erhalten (HWA-04), bestehende Bauten und Infrastruktur (Sportstätten in der Oberaue, Straßenbahntrasse) sollten überprüft und gegen Hochwasser gesichert werden (HWA-01, HWA-02, HWA-03).



Abbildung:
Ortsteil Krippendorf
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL KRIPPENDORF

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	mäßig	gering	hoch

Für Krippendorf lassen sich klimawandelbedingte Betroffenheiten im wesentlichen als Erosion auf den landwirtschaftlichen Flächen und punktuell durch Hochwasser identifizieren.

Krippendorf ist überwiegend von agrarischer Nutzung geprägt (Abbildung 5.11). Die bereits bestehende Erosionsgefährdung birgt das Risiko, wertvollen Oberboden durch zunehmende wassergebundene Erosion infolge wahrscheinlich intensiverer Regenereignisse (Kapitel 5.1.4) zu verlieren, wenn nicht Erosionsschutzmaßnahmen getroffen werden. Probate Methoden, Erosionserscheinungen abzuschwächen, sind z. B. die Anlage von Hecken oder Feldstreifen (LAN-01, NAT-07), hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12), die Anwendung bodenschonender Kulturtechniken (LAN-03) oder der Zwischenfruchtanbau (LAN-04). Auch Bewaldung (ENE-01, FOR-06) ist auf besonders gefährdeten Flächen mit geringen Nutzungsinteressen eine Möglichkeit, Erosionserscheinungen zu verringern.

Die Verrohrung des Gönner Bachs innerhalb der Ortschaft Krippendorf ist bei großem Abflussvolumen stellenweise nicht ausreichend dimensioniert, sodass es in der Vergangenheit gelegentlich zu lokalen Überschwemmungen kam. Ein naturnaher Ausbau (HWA-10) des Fließgewässers, z. B. über Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, wäre ein wirksamer Beitrag das Hochwasserrisiko zu reduzieren.



Abbildung:
Ortsteil Kunitz
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL KUNITZ/LAASAN

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	mäßig	hoch

Eine klimawandelbedingte Betroffenheit für Kunitz/Laasan ist in erster Linie durch Erosionsgefährdung auf Ackerflächen, aber auch durch Wärmebelastung, Trockenheit und Hochwasser gegeben.

Ein Gefahrenpotential durch Erosionserscheinungen ist für die Ackerflächen innerhalb des „Hufeisens“ zu sehen (Abbildung 5.11). Um einer zunehmenden wassergebundenen Erosion vorzubeugen, sollte z. B. der Zwischenfruchtanbau (LAN-04) eingeführt oder die Bewirtschaftungstechnik umgestellt (LAN-03, HWA-12) werden.

Eine mäßige Zunahme der Wärmebelastung ist für den Ortskern von Kunitz wahrscheinlich (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Eine Möglichkeit diesem Trend entgegenzuwirken, ist z. B. die Schaffung von „grünen und blauen Strukturen“ (HUM-22, HUM-05). Der Kochersgraben ist als Luftleitbahn von Relevanz für die nächtliche Belüftung von Kunitz (Abbildung 3.7). Quer zur Strömungsrichtung orientierte Bebauung sollte daher in diesem Bereich vermieden werden (HUM-28).

Mit zunehmender Trockenheit ist hauptsächlich auf und an den Hängen des „Hufeisens“ zu rechnen (Abbildung 5.9). Zur Brandschutzvorsorge könnte das Monitoring intensiviert und die Einsatzbereitschaft bei Waldbrandgefahr erhöht werden (FOR-01). Langfristig könnte die Artenzusammensetzung der Baumbestände auf eine erhöhte Trockenresistenz hin verändert werden (FOR-04).

Im westlichen Bereich von Kunitz/Laasan befinden sich wichtige Retentionsflächen für Saalehochwässer (Abbildung 5.7). Diese sind zur Minderung des Ausmaßes von Hochwasserereignissen zu erhalten (HWA-04), bauliche Anlagen sind zu schützen und gegebenenfalls zu verlagern (HWA-02). Eine unzureichende Dimensionierung von Verrohrungen am Wiesenbach sowie am Laasaner Bach hat in der Vergangenheit des öfteren zu Überschwemmungen geführt. Es wird daher empfohlen, Fließwegmodellierungen zur gezielten Hochwasserabwehr (HWA-16) durchzuführen, die Regenwasserversickerung bzw. -nutzung zu forcieren (MAN-32) und einen naturnahen Zustand der Fließgewässer anzustreben bzw. zu erhalten (HWA-10).



Abbildung:
Ortsteil Leutra
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL LEUTRA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	gering	hoch	mäßig

Für den Ortsteil Leutra ergeben sich klimawandelbedingte Betroffenheiten im wesentlichen durch zunehmende Trockenheit, allerdings auch durch Wärmebelastung im Ortskern und Erosion.

Für die nord- und südexponierten Hänge des Leutratals wird eine Verringerung des Wasserangebots in der Vegetationsperiode und somit eine Zunahme und Intensivierung von Trockenperioden projiziert (Abbildung 5.9). Den ansässigen Trocken- und Halbtrockenrasen sowie Orchideen sollte diese Entwicklung eher zum Vorteil gereichen (Kapitel 5.1.3). Für die Waldgesellschaften ergibt sich jedoch ein erhöhter Trockenstress und eine Zunahme der Waldbrandgefahr. Es wird daher empfohlen, die Trockenresistenz der Waldbestände durch veränderte Artenwahl (FOR-04) zu erhöhen, Waldbränden durch intensives Monitoring und erhöhter Einsatzbereitschaft bei Hitze- und Trockenperioden (FOR-01) vorzubeugen bzw. die forstwirtschaftlichen Mitarbeiter hinsichtlich einer nachhaltigen und naturschonenden Forstwirtschaft zu qualifizieren (FOR-03).

Für die Ackerflächen mit hoher Reliefenergie wird mit einer Zunahme der Erosionserscheinungen gerechnet. Hier ist der Einsatz probater Erosionsschutzmaßnahmen, wie die Anlage von Hecken und Baumreihen (ENE-01, FOR-06, LAN-01) oder die Einführung des Zwischenfruchtanbaus (LAN-04) angeraten.

Eine mäßige Zunahme der Wärmebelastung kann für Leutra für den Dorfkern verzeichnet werden (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Das Leutratals ist jedoch von großer Bedeutung hinsichtlich der nächtlichen Versorgung angrenzender, zum Teil stark hitzebelasteter Ortsteile, wie Göschwitz oder Burgau, mit Kalt- und Frischluft (Abbildung 3.7). Um die Funktion des Leutratals als Luftleitbahn zu wahren, sollten die zusammenhängenden Grün- und Freiflächen erhalten (HUM-04, NAT-01) und von Emissionen möglichst nicht beeinträchtigt (HUM-21, TOU-03) werden.

Auch wenn im Ortsteil Leutra nicht von einer zunehmenden Hochwassergefährdung der Leutra aufgrund von Starkregenereignissen auszugehen ist, sollten z. B. die Möglichkeiten der Regenwasserversickerung verbessert (MAN-32) und der naturnahe Ausbau des Gewässers (HWA-10) initiiert werden, um die Gefährdung im leutra-abwärts gelegenen Ortsteil Maua zu reduzieren.



Abbildung:
Ortsteil Lichtenhain
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL LICHTENHAIN

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	gering	hoch	gering

In Lichtenhain ist eine klimawandelbedingte Betroffenheit besonders durch Trockenheit und Wärmebelastung in verdichteten Arealen gegeben.

Vor allem auf den Flächen des Zeiss-Werkes, der Fachhochschule und innerhalb der dörflichen Siedlungsstrukturen von Lichtenhain muss mit zunehmender Wärmebelastung (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3) und einer Reduzierung des Wasserangebots in der Vegetationsperiode (Abbildung 5.9), aufgrund sich verstärkender Hitze- und Trockenperioden (Kapitel 5.1.1 und Kapitel 5.1.3), gerechnet werden. Um einer sich verstärkenden Wärmebelastung entgegenzuwirken ist es angeraten, den Grad der versiegelten Fläche zu reduzieren (HUM-17), „grüne und blaue Strukturen“ zu etablieren (HUM-05, HUM-20) und, vor allem bei den Werks- und Fachhochschulgebäuden, auf architektonische Anpassung (HUM-15) und eine klimaangepasste Baustruktur (HUM-23) hinzuwirken. Grün-, Garten- und Waldflächen

bewirken eine Verbesserung der thermisch-lufthygienischen Belastungssituation (HUM-04) und sollten deshalb erhalten bleiben bzw. nach Möglichkeit erweitert werden. Weitere quer zur Strömungsrichtung orientierte Bebauung sollte im Lichtenhainer Tal vermieden werden (HUM-28), um das Eindringen von nächtlicher Kaltluft in den Siedlungskörper zu erleichtern.

Städtische Grünflächen mit zunehmendem Trockenstress müssen in Zukunft häufiger bewässert werden (MAN-19). Dazu sollte ein zielgerichtetes Bewässerungsmanagement (MAN-14) eingeführt und die Anwendung alternativer wassersparender Techniken (MAN-20) geprüft werden. Nicht nur beim Stadtgrün, sondern auch in den Wäldern, sollte auf die Verwendung von trockenresistenteren Arten (FOR-04, MAN-16) hingewirkt werden.



Abbildung:
Ortsteil Lobeda-Altstadt
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL LOBEDA-ALTSTADT

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	hoch	gering

Klimawandelbedingte Betroffenheiten sind für Lobeda-Altstadt vor allem durch verlängerte und intensivere Hitze- und Trockenperioden zu erwarten.

Von zunehmender Wärmebelastung und Trockenheit ist ein Großteil von Alt-Lobeda betroffen, besonders der alte Ortskern (Abbildung 5.2, Abbildung 5.3 und Abbildung 5.8). In diesen Bereichen sollte der Anteil abkühlender Strukturen, wie offene Wasserflächen (HUM-05), Dach-, Hof- und Fassadenbegrünungen (HUM-22) oder möglichst zusammenhängende Grünflächen (HUM-04) geschaffen werden. Um dem steigenden Trockenstress beim Stadtgrün entgegen zu wirken, ist es empfehlenswert, den Anteil an versiegelten Flächen zu reduzieren (HUM-17) sowie häufiger (MAN-19) und effizienter (MAN-20) zu bewässern. Auch sollte durch eine Umstellung der Artenwahl die Trockenresistenz (FOR-04, MAN-16) und die Lufthygiene (HUM-26) erhöht bzw. verbessert werden.

Lobeda-Altstadt hat Anteil an wichtigen in der Saaleaue gelegenen Retentionsflächen (Abbildung 5.7). Zur Minderung des Ausmaßes eines Saalehochwassers sollten diese Bereiche entsprechend freigehalten werden (HWA-04). Ansässige Infrastruktur sollte auf ihre hochwasserangepasste Ausführung geprüft und ggf. gesichert werden (HWA-01, HWA-02).



Abbildung:
Ortsteil Lützeroda
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL LÜTZERODA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	gering	hoch

Im Ortsteil Lützeroda sind es hauptsächlich Erosionserscheinungen auf Ackerflächen, mit deren Auftreten in Zukunft häufiger gerechnet werden muss.

Nahezu die gesamte landwirtschaftliche Fläche des Ortsteils ist durch Erosion gefährdet. Vor allem die abschüssigen Areale im Ziskauer Tal weisen eine hohe Erosionsgefährdung auf (Abbildung 5.11). Um den Abtrag wertvollen Bodenmaterials zu mindern, sollten Maßnahmen des Erosionsschutzes verstärkt werden. Dazu ist z. B. die Umstellung von Bewirtschaftungstechniken (HWA-12, LAN-03), die Einführung des Zwischenfruchtanbaus (LAN-04) oder die Anlage von Hecken (LAN-01, NAT-07), bzw. an besonders gefährdeten Stellen von kleineren Waldstücken (ENE-01, FOR-06), zu zählen. Generell könnte eine Umstellung der konventionellen agrarischen Produktion hin zu einer nachhaltigen und ökologisch orientierten Landwirtschaft (LAN-06, LAN-08, LAN-05) eine wirksame Prävention von Erosionsereignissen bedeuten.

Die zahlreichen Freiflächen des Ortsteils Lützeroda sind Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet und das Ziskauer Tal eine wichtige Luftleitbahn zur Versorgung der Innenstadtbereiche (über das Mühlthal) mit kalten und frischen Luftmassen (Abbildung 3.7). Der Erhalt der Freiflächen (HUM-02) und der Luftleitbahn (HUM-01) wird daher empfohlen.



Abbildung:
Ortsteil Löbstedt
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL LÖBSTEDT

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	hoch	gering	gering

Für den Ortsteil Löbstedt sind klimawandelbedingte Betroffenheiten hauptsächlich durch die Klimawirkfolgen Wärmebelastung und Hochwasser zu erwarten.

Vor allem in den stark versiegelten Bereichen rund um das Einkaufszentrum Kaufland-Nord sowie innerhalb des alten Dorfkerns ist die Ausbildung relativer Temperaturmaxima gegenüber der Umgebung wahrscheinlich (Abbildung 5.2). Sensible Nutzungen (Kindertagesstätte, Seniorenheim) grenzen zudem direkt an diese kritischen Bereiche an. Für Löbstedt werden daher Maßnahmen angeraten, die auf Entsiegelung (HUM-17), Beschattung (HUM-24), die Etablierung „blauer und grüner Strukturen“ (HUM-05, HUM-03, HUM-22) und eine verbesserte Lüfthygiene (HUM-21, HUM-26) abzielen. Die Zufuhr nächtlicher Kalt- und Frischluft erfolgt in begrenztem Umfang aus dem Rautal.

Eine Gefährdung durch Hochwasser ist für Löbstedt durch Gewässer 1. und 2. Ordnung zu sehen (Abbildung 5.7). Die Bereiche östlich der „Wiesenstraße“ stellen wichtige Retentionsflächen der Saale dar und werden häufig (z. B. nach Schneeschmelzereignissen) überschwemmt. Der Erhalt von Retentionsflächen (HWA-04) sowie die Ertüchtigung von Bau- und Verkehrsinfrastruktur (MAN-05, MAN-30, MAN-31) werden daher empfohlen. Der Steinbach durchfließt den gesamten Ortsteil und weist an einigen Stellen Verrohrungen und Kanalisierungen auf, an welchen es in der Vergangenheit zu Überschwemmungen kam. Fließwegmodellierungen zur gezielten Platzierung von Abwehrmaßnahmen (HWA-16), ein naturnaher Ausbau des Gewässers (HWA-10) und Entsiegelung (HWA-03) werden angeraten. Die Betroffenheit durch zunehmende Trockenheit in der Vegetationsperiode trifft vor allem die bebauten Bereiche westlich des alten Dorfkerns bis hin zum „Heiligen Berg“.

Eine Gefährdung Löbstedts durch Erosion wird als gering eingeschätzt und ist am ehesten an den Hängen des „Heiligen Berges“ zu erwarten.



Abbildung:
Ortsteil Maua
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL MAUA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	gering	mäßig

In Maua ist eine klimawandelbedingte Betroffenheit im wesentlichen durch die Klimawirkfolgen Wärmebelastung, Hochwasser und Erosion zu sehen.

Bioklimatische Belastungen sowie lufthygienische Beeinträchtigungen sind in Maua vor allem im alten Dorfkern und zumindest teilweise in den Gewerbegebieten „Maua-Süd“ und „Maua-Südwest“ zu erwarten (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Hier wird angeraten, den Versiegelungsgrad zu reduzieren (HUM-17) und abkühlende „blaue und grüne Strukturen“ (HUM-05, HUM-20) in den Siedlungskörper einzubinden. Zusammenhängende Grün- und Freiflächen sollten freigehalten werden (HUM-01), um heranströmender nächtlicher Kaltluft aus dem Süden (Saaletalwind) und Westen (Leutral) das Eindringen in die Bebauung von Maua und sich nördlich anschließenden Ortsteilen zu erleichtern (Abbildung 3.7).

Weite Teile Mauas (östlich der Bahntrasse) sind wichtige Retentionsflächen für mögliche Saalehochwässer (Abbildung 5.7). Diese sollten zur Minderung der Hochwasser-Auswirkungen freigehalten werden (HWA-04). Anlagen der technischen -, wie der Verkehrsinfrastruktur, sollten hinsichtlich ihrer hochwasserangepassten Ausführung geprüft und ggf. verlagert werden (HWA-02, HWA-06). Hohe Durchflüsse der Leutra führten mehrfach zu Schädigungen der Bebauung. Renaturierung (HWA-10) und Hochwassermodellierungen zur Platzierung gezielter Hochwasserabwehrmaßnahmen (HWA-16) sollten hier erwogen werden.

Eine zunehmende Erosionsgefährdung kann für die landwirtschaftlichen Flächen an den Hängen des Leutral angeommen werden (Abbildung 5.11). Hier ist die Umsetzung probater Erosionsschutzmaßnahmen, wie die Anlage von Hecken (LAN-01), die Einführung des Zwischenfruchtanbaus (LAN-04) und die Umstellung auf bodenschonende Kulturtechniken (LAN-03) angeraten.



Abbildung:
Ortsteil Münchenroda
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL MÜNCHENRODA/REMDERODA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	mäßig	mäßig

In Münchenroda-Remderoda ist mit geringen klimawandelbedingten Betroffenheiten, am wahrscheinlichsten durch Trockenheit und Erosion, zu rechnen.

Die zahlreichen zusammenhängenden Ackerflächen im Ortsteil Münchenroda/Remderoda sind ein bedeutsames Kaltluftentstehungsgebiet. Die dort produzierten kalten und frischen Luftmassen gelangen über den Münchenrodaer Grund ins Mühlthal und tragen somit sehr zur Verbesserung der bioklimatischen Belastungssituation in den Innenstadtbereichen Jenas bei (Abbildung 3.7). Auf den zusammenhängenden Freiflächen und im Münchenrodaer Grund sollte daher von einer Bebauung möglichst abgesehen werden (HUM-02, NAT-01) sowie lufthygienische Beeinträchtigungen sollten weitestgehend vermieden werden (HUM-21).

Stellenweise muss auf den Acker-, Wald- und Grünflächen des Ortsteils mit einer zunehmenden Verknappung des Wasserangebots in der Vegetationsperiode, aber auch mit Erosionserscheinungen gerechnet werden (Abbildung 5.9 und Abbildung 5.11). Um der Trockenheit im Ortsteil zu begegnen, könnte das Artenspektrum der verwendeten Nutz- und Grünpflanzen verändert (FOR-04, LAN-07, MAN-21) und das Monitoring sowie die Einsatzbereitschaft während Hitzeperioden erhöht werden (FOR-01).

Zur Minderung der Erosionsgefährdung könnten Hecken angelegt (ENE-01, LAN-01), hangparallel bewirtschaftet (HWA-12) oder bodenschonende Kulturtechniken eingeführt werden (LAN-03, LAN-04).



Abbildung:
Ortsteil Neulobeda
(Quelle: M. Miltzow/
Weimar 2010)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL NEULOBEDA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	mäßig	gering

Aufgrund der großen Bevölkerungszahl besteht in Neulobeda vor allem eine Betroffenheit bei anhaltenden Hitze- und Trockenperioden. Mit einer Zunahme der Wärmebelastung muss im Bereich des Universitätsklinikums und stellenweise in Lobeda-West (Karl-Marx-Allee) gerechnet werden (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Auch sensible Nutzungen (Kindertagesstätten, Klinikum) befinden sich innerhalb der kritischen Bereiche. In Neulobeda ist es daher angeraten, die Bevölkerung bei bioklimatisch bedenklicher Wetterlage rechtzeitig zu informieren (HUM-13) und dem steigenden Nutzungsdruck auf städtische Freiräume und Grünflächen (MAN-11, MAN-12) gerecht zu werden. Generell sollten offene Wasserflächen (HUM-05) und abkühlende Grünelemente (HUM-20) vermehrt in die Siedlungsstruktur eingebunden werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass möglichst Pflanzen verwendet werden, die nur geringe Konzentrationen an Ozonvorläufermolekülen produzieren (HUM-27). Insbesondere an öffentlichen bzw. stark frequentierten Gebäuden (z. B. Universitätsklinikum, Einkaufszentren) sollte an eine technische Optimierung bzw. architektonische Anpassung sowie an ausrei-

chende Beschattungsmöglichkeiten (HUM-24) gedacht werden. Die Acker- und Grünflächen im angrenzenden Ortsteil Drackendorf sind wichtige Kalt- und Frischluftentstehungsgebiete, deren nächtlich zugeführte Luftmassen zur Abkühlung und Verbesserung der Lufthygiene Neulobedas beitragen (Abbildung 3.7). Um den Luftmassen das Eindringen in den Siedlungskörper Neulobedas zu erleichtern, sollten die entsprechenden Freiräume erhalten bleiben und Bebauung in Kaltluftbahnen vermieden bzw. angepasst errichtet werden (HUM-01, HUM-28).

Auch sommerliche Trockenheit könnte zukünftig beim Stadtgrün des Ortsteils zu physiologischen Beeinträchtigungen führen. Das gilt besonders für Lobeda-Ost und das Gewerbegebiet Lobeda-Süd (Abbildung 5.9). Hier wird sich der Bewässerungsaufwand für städtische Grünflächen erhöhen (MAN-19), wobei die Möglichkeiten alternativer, wassersparender Bewässerungsverfahren genutzt werden sollten (MAN-20).

Im Nord- und Südwesten Neulobedas befinden sich wichtige Retentionsflächen (Abbildung 5.7), die der Abschwächung möglicher Sauerhochwässer dienen und daher unbedingt erhalten bleiben sollten (HWA-04). Bestehende kommunale und private Anlagen auf diesen Flächen sollten hochwassertechnisch überprüft und gesichert werden (HWA-02).



Abbildung:
Ortsteil Vierzehnheiligen
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL VIERZEHNHEILIGEN

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	gering	hoch

In Vierzehnheiligen sind es in erster Linie Erosionserscheinungen auf Ackerflächen, die ein klimawandelbedingtes Gefahrenpotenzial durch intensivere Regenereignisse beinhalten (Abbildung 5.11). Zur Reduzierung der Erosionsgefährdung empfiehlt sich die Umsetzung bewährter Erosionsschutzmaßnahmen, wie z. B. die pfluglose Bodenbearbeitung (LAN-03), der Zwischenfruchtanbau (LAN-04) oder hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12). Auf besonders erosionsgefährdeten Flächen sollte auch über eine Bedeckung mit Vegetation (ENE-01, FOR-06, LAN-01, NAT-07) nachgedacht werden, wodurch

auch die Erosion auf umliegenden Flächen deutlich abgeschwächt werden könnte. Generell würde eine Umstellung der konventionellen agrarischen Produktion hin zu einer nachhaltigen und ökologisch orientierten Landwirtschaft (LAN-06, LAN-08, LAN-05, ENE-10) eine wirksame Prävention von Erosionsereignissen bedeuten.



Abbildung:
Ortsteil Wenigenjena
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL WENIGENJENA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	hoch	mäßig	gering

Für Wenigenjena besteht eine Betroffenheit bzgl. Hochwassergefährdung durch Gewässer 1. und 2. Ordnung. Auch eine klimawandelbedingte Intensivierung von sommerlichen Hitze- und Trockenperioden könnte zukünftig vermehrt zu bioklimatischen Belastungen führen. Am Gembdenbach kam es in der Vergangenheit bereits zu Hochwassersituationen. Bei hohen Abflüssen kann es zu Überschwemmungen der angrenzenden Nutzungen (Campingplatz, Sportstätten) kommen. Um das Schadpotential zu mindern, sollte die Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten für Niederschläge und Schmelzwässer (HWA-03) bzw. der naturnahe Ausbau des Gembdenbachs (HWA-10) weiter forciert werden. Im Westen Wenigenjenas befinden sich wichtige Retentionsflächen zur Abschwächung von Saalehochwässern (Abbildung 5.7). Im Sinne des Hochwasserschutzes sollten diese unbedingt freigehalten werden (HWA-04). Angesiedelte Infrastruktur sollte überprüft und gesichert werden (HWA-02).

Zunehmende Wärmebelastung stellt vor allem für die verdichteten Wohnquartiere innerhalb des Dreiecks Saale – Jenzigweg (B7) – Karl-Liebnecht-Straße ein Problem dar (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Sensible Nutzungen, wie Kindertagesstätten oder Pflegeheime sind hier zu finden. Zum Schutz der Bevölkerung sollte diese bei kritischen Wetterlagen vorgewarnt werden (HUM-13). Städtische Grünflächen werden einer steigenden Nutzung ausgesetzt sein, der nach Möglichkeit durch Flächenerweiterung und verbesserte Erreichbarkeit (HUM-04, MAN-11, MAN-12) nachgekommen werden sollte. Generell könnte durch Schaffung abkühlender Elemente, wie offenen Wasserflächen (HUM-05), Grünelementen oder Hof- und Fassadenbegrünungen (HUM-22, HUM-26) das Ausmaß der Wärmebelastung in Wenigenjena reduziert werden. Das Gembdental ist eine wichtige Luftleitbahn zur Versorgung Wenigenjenas mit Kalt- und Frischluft (Abbildung 3.7). Davon profitieren vor allem die (bebauten) Areale entlang der B7 bzw. des Gembdenbaches. Diese Luftleitbahn sollte daher erhalten bleiben, Beeinträchtigungen durch Emissionen sollten reduziert werden (HUM-04, HUM-21).

Eine Zunahme der Trockenheit lässt sich ebenfalls für die verdichteten Areale Wenigenjenas und für Teile der bewaldeten Hänge ableiten (Abbildung 5.9). Eine Möglichkeit dem zunehmendem Trockenstress zu begegnen, ist eine Veränderung der Artenzusammensetzung von Wäldern und Stadtgrün hin zu einem höheren Anteil trockenresistenter Arten (FOR-04, HUM-16).



Abbildung:
Ortsteil Winzerla
(Quelle: Lerm 2009)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL WINZERLA

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	hoch	gering	mäßig	gering

In Winzerla ist eine Zunahme der Betroffenheiten aufgrund sich intensivierender Hitze- und Trockenperioden wahrscheinlich. Insbesondere im alten Dorfkern, den Industrie- und Gewerbegebieten aber teilweise auch in Bereichen der Großsiedlung muss mit einer Zunahme der Wärmebelastung gerechnet werden (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Auch sensible Nutzungen, wie Kindertagesstätten oder Pflegeheime sind in diesen Bereichen angesiedelt. Es sollte daher dafür gesorgt werden, dass der Bevölkerung ausreichend Erholungsraum bei Hitzestress (MAN-11) zur Verfügung steht und dass sie im Vorfeld von Hitzeperioden und zu Pollenflugzeiten gewarnt wird (HUM-13). „Blaue und grüne Strukturen“ (HUM-04, HUM-05, HUM-17, HUM-22) sind eine Möglichkeit kleinräumig für Abkühlung zu sorgen. Sie sollten daher vermehrt in den Siedlungskörper eingebunden werden. Bei Neuanpflanzungen (HUM-26) ist es empfeh-

lenswert, Pflanzen zu verwenden, die nur geringe Konzentrationen an Ozonvorläufermolekülen produzieren (HUM-27). Insbesondere bei öffentlichen bzw. stark frequentierten Gebäuden sollte eine ausreichende Beschattung und architektonische Anpassung gewährleistet werden (HUM-15, HUM-24).

Eine Zunahme der sommerlichen Trockenheit ist auf den Waldflächen und im alten Ortskern Winzerlas wahrscheinlich (Abbildung 5.9). Ein verstärktes Monitoring und erhöhte Einsatzbereitschaft (FOR-01) sind Optionen, Bränden vorzubeugen. Langfristig sollte das Artenspektrum hin zu trockenresistenteren Arten verändert werden (FOR-04, MAN-16).



Abbildung:
Ortsteil Wöllnitz
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL WÖLLNITZ

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	hoch	hoch	gering

Für den Ortsteil Wöllnitz muss künftig mit einer Verschlechterung des Wasserangebots in der Vegetationsperiode gerechnet werden. Zudem besteht für Wöllnitz eine Betroffenheit durch Hochwässer bzgl. Gewässer 1. und 2. Ordnung.

Wöllnitz umfasst große Areale innerhalb der Saaleaue, die als Retentionsflächen für Hochwässer ausgewiesen sind (Abbildung 5.7). Bestehende infrastrukturelle Anlagen sollten auf ihre hochwasserangepasste Ausführung hin überprüft und ggf. gesichert bzw. verlagert werden (HWA-02, HWA-04, HWA-06). Am Pennickenbach kam es in der Vergangenheit gelegentlich zu Überschwemmungen nach Schneeschmelzereignissen. Um das Ausmaß und somit das Schadpotential lokaler Überschwemmungen am Pennickenbach gering zu halten, sollten die Möglichkeiten flächenhafter Versickerung von Niederschlag und Schmelzwasser verstärkt (HWA-03) und die Renaturierung des Fließgewässers forciert werden (HWA-10).

Sommerliche Trockenheit wird sich voraussichtlich im Ortskern von Wöllnitz und auf den bewaldeten Plateauflächen (Hummelsberg) intensivieren (Abbildung 5.9). Es wird daher empfohlen, die Trockenresistenz des Stadtgrüns bzw. der Wälder zu erhöhen (FOR-04, MAN-16) und Waldbränden durch verstärktes Monitoring und Einsatzbereitschaft vorzubeugen (FOR-01).

Eine erhöhte Wärmebelastung ist in Wöllnitz nur an vereinzelten Stellen wahrscheinlich (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Innerhalb dieser Bereiche sollten abkühlende Elemente, wie offene Wasserflächen (HUM-05, MAN-18), Grünflächen (HUM-04) und Begrünungen (HUM-20) erhalten bleiben und vermehrt angesiedelt werden. Das Pennickental erfüllt die Funktion einer Luftleitbahn zur nächtlichen Versorgung von Wöllnitz sowie benachbarter Siedlungsbereiche mit kalten und frischen Luftmassen (Abbildung 3.7). Um auch künftig die nächtliche Abkühlung und Reinigung der städtischen Luft zu fördern, sollte von einer strömungsbehindernden Bebauung im Pennickental möglichst abgesehen bzw. diese angepasst errichtet werden (HUM-04, HUM-21, HUM-28).



Abbildung:
Ortsteil Ziegenhain
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL ZIEGENHAIN

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	gering	gering	mäßig	gering

Für den Ortsteil Ziegenhain muss kaum mit klimawandelbedingten Betroffenheiten gerechnet werden. Eine wesentliche Aufgabe für den Ortsteil besteht jedoch darin, der künftig wahrscheinlich wachsenden Aufgabe als Naherholungsraum für die wärmebelastete Stadtbevölkerung gerecht zu werden.

Im alten Dorfkern und an den nördlichen Hängen des Ziegenhainer Tals wird sich das Wasserangebot in der Vegetationsperiode voraussichtlich verringern (Abbildung 5.9). Die Vegetation sollte daher an die veränderten klimatischen Gegebenheiten angepasst (FOR-04, MAN-16) und die Waldbrandvorsorge intensiviert (FOR-01) werden. Große Teile des Ortsteils sind Kalt- bzw. Frischluftentstehungsgebiet. Das Ziegenhainer Tal fungiert als Luftleitbahn zur Versorgung des Ortsteils Kernberge und der sich anschließenden innerstädtischen Bereiche mit kalten und frischen Luftmassen (Abbildung 3.7). Um zunehmenden bioklimatischen Beeinträchtigungen in den tieferliegenden Ortsteilen entgegenzuwirken, sollten die Funktionen Ziegenhains als Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet bzw. Luftleitbahn erhalten bzw. verbessert werden (HUM-01, HUM-04, HUM-23, HUM-28).

Ziegenhain ist ein wichtiger Naherholungsraum für die Jenaer Bevölkerung (MAN-11). Der Parkplatz am Steinkreuz z. B. ist ein beliebter Ausgangspunkt für zahlreiche Freizeitaktivitäten. Da sich die Bedeutung Ziegenhains als Naherholungsraum zukünftig wahrscheinlich verstärken wird, ist es angeraten Konzepte zu entwickeln, die die Interessen des Naturschutzes und die Nutzungsinteressen der Bevölkerung sinnvoll vereinen (MAN-24, NAT-04, NAT-05, TOU-03).



Abbildung:
Ortsteil Zwätzen
(Quelle: Stadt
Jena 2012)

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DEN ORTSTEIL ZWÄTZEN

Betroffenheiten	Wärmebelastung	Hochwasser	Trockenheit	Erosion
	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig

Im Ortsteil Zwätzen muss zukünftig mit einem breiten Spektrum an klimawandelbedingten Betroffenheiten gerechnet werden.

Eine zunehmende Wärmebelastung wird in Zwätzen vor allem für den alten Ortskern und das Gewerbegebiet Zwätzen-Ost erwartet (Abbildung 5.2 und Abbildung 5.3). Auch sensible Nutzungen (Kindertagesstätten) sind in diesem Bereich angesiedelt. Zum Schutz der Bevölkerung sollte diese im Vorfeld längerer Hitzeperioden gewarnt und über angepasstes Verhalten aufgeklärt werden (HUM-08). Außerdem sollte mittels Entsiegelung (HUM-17) und der Schaffung von „blauen und grünen Strukturen“ (HUM-04, HUM-05, HUM-22) für eine erhöhte Verdunstung und somit für Abkühlung gesorgt werden. Auch eine zunehmende Trockenheit wird für die verdichteten Areale des Ortsteils und teilweise für bewaldete Flächen angenommen (Abbildung 5.9). Hier sollte sukzessive die Trockenresistenz der Grün- und Waldflächen erhöht werden (FOR-04, MAN-16).

In Zwätzen befinden sich wichtige Retentionsflächen für Saalehochwässer (Abbildung 5.7). In diesem Gebiet, z. B. im Kreuzungsbereich Brückenstraße/Wiesenstraße, kam es in der Vergangenheit zu frühjährlichen Überschwemmungen durch die Saale. Auf den Retentionsflächen sollte von Bebauungsvorhaben abgesehen werden (HWA-04), bestehende Gebäude und Infrastruktur sollten auf ihre hochwasserangepasste Ausführung hin überprüft und ggf. gesichert bzw. verlagert werden (HWA-01, HWA-02, HWA-06).

Ein erhöhtes Erosionspotenzial lässt sich für die Ackerflächen in Hanglage verzeichnen (Abbildung 5.11). Hier sind Erosionsschutzmaßnahmen, wie die Anlage von Hecken (LAN-01) und hangparallele Bewirtschaftung (HWA-12), angeraten.

WEITERFÜHRENDE BEWERTUNG UND PRIORISIERUNG VON KLIMAAANPASSUNGS- MASSNAHMEN

10.

Die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels wird nicht mehr nur auf strategischer Ebene vorbereitet. Zunehmend werden eigenständige Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt oder Klimaanpassungsaspekte bei der Realisierung von Planungsvorhaben berücksichtigt. Kommunale Entscheidungsträger sind dabei um wirtschaftliche Lösungen bemüht, die sowohl die bereits verfügbaren Informationen als auch klimawandelbezogene Unsicherheiten bei der Entscheidungsfindung berücksichtigen. Die Ermittlung prinzipiell geeigneter Handlungsoptionen und die Auswahl derjenigen Alternativen, die bevorzugt umzusetzen sind, setzt neben der Abwägung verschiedener Faktoren, wie z. B. Wirksamkeit, Kosten oder Lebensdauer, auch die Beachtung der unterschiedlichen Interessen verschiedener Stakeholder, d. h. (gesellschaftlicher) Anspruchsgruppen, voraus. Verfahren, die die Transparenz des Entscheidungsprozesses sicherstellen, unterstützen einerseits durch das Aufzeigen bestehender Handlungsspielräume die eigentliche Entscheidungsfindung und wirken sich andererseits durch die Verbesserung deren Nachvollziehbarkeit positiv auf die Akzeptanz der Entscheidungen aus.

Das **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig - UFZ** hat zur Unterstützung klimaanpassungsbezogener Entscheidungsprozesse einen Leitfaden entwickelt, der ein einfaches Verfahren zur ökonomischen Bewertung und Priorisierung von Handlungsoptionen beschreibt. Dieser Leitfaden führt durch den Prozess der Auswahl und Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen; zeigt relevante Fragen auf und strukturiert den Bewertungs- und Priorisierungsprozess; hilft, eine Datengrundlage für die Entscheidungsfindung zu schaffen und mit Datenunsicherheiten umzugehen; erklärt mögliche Bewertungsmethoden und hilft, diese anzuwenden.

Das mehrstufige Verfahren (Abbildung 10.1) ermöglicht auf den ersten vier Stufen sowohl die Einbeziehung von Experten aus verschiedenen Fachplanungen als auch von zu beteiligenden Anspruchsgruppen. Er ist somit partizipativ angelegt und gliedert sich in fünf Schritte:

- *Stufe 1: Identifizierung einer konkreten Betroffenheit durch den Klimawandel z. B. in Form eines Schadensereignisses, das zukünftig häufiger eintreten wird und dem begegnet werden soll,*
- *Stufe 2: Ermittlung möglicher Handlungsoptionen, um das Auftreten erwarteter Schäden einzudämmen bzw. sich durch den Klimawandel ergebende Chancen zu nutzen,*
- *Stufe 3: Auswahl eines geeigneten Bewertungsverfahrens und von Bewertungskriterien, anhand derer die Handlungsoptionen gegeneinander abgewogen werden sollen,*
- *Stufe 4: Datenerhebung entsprechend der ausgewählten Bewertungskriterien und zu vergleichenden Handlungsoptionen,*
- *Stufe 5: Bewertung und Priorisierung der Handlungsoptionen.*

Das Verfahren ist so konzipiert, dass es auch mit geringem Aufwand auf Grundlage bereits vorliegender Daten durchgeführt werden kann. Sind die vorhandenen Informationen nicht ausreichend, so müssen ggf. im Bewertungsprozess Anpassungen vorgenommen oder neue Daten erhoben werden (Iterationsschleifen). Im Folgenden werden die einzelnen Stufen des Bewertungsprozesses näher beschrieben.

10.1 IDENTIFIZIERUNG DER BETROFFENHEIT

Die Identifizierung einer konkreten klimawandelbezogenen Betroffenheit kann durch einen Austausch mit Experten aus verschiedenen Handlungsfeldern erfolgen. Dabei lassen sich bereits bestehende bzw. zukünftig erwartete Betroffenheiten erörtern, wie z. B. negative Auswirkungen von Hitze- bzw. Trockenphasen oder von Starkregenereignissen. Eine systematische Analyse vergangener wetterbezogener Schadensereignisse, deren Häufung oder Verstärkung angesichts der vorliegenden Klimaprojektionen erwartet werden kann, ist ein mögliches Vorgehen. Ziel ist es, den Handlungsbedarf z. B. mit Hilfe von Informationen zu bereits aufgetretenen oder drohenden Schäden möglichst genau zu beschreiben. Dabei kann auf bestehende Analysen zurückgegriffen werden, sofern diese in ausreichend tiefer regionaler und/oder sektoraler Abstufung vorliegen.



Abbildung 10.1: Prozess der Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen (Quelle: Gebhardt et al. 2012)

10.2 ERMITTLUNG VON HANDLUNGSOPTIONEN

Ausgehend von den konkreten Problemlagen können in Abstimmung mit Experten mögliche Handlungsoptionen ermittelt werden, die geeignet sind, den drohenden Schaden vollständig abzuwenden oder zumindest zu verringern. Wenn diesbezüglich noch keine Handlungsempfehlungen vorliegen sollten, können geeignete Anpassungsmaßnahmen in Datenbanken, wie dem KlimaExWoSt-StadtKlimalotsen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR 2012) oder dem Jenaer Entscheidungsunterstützungssystem für lokale Klimaanpassung – JELKA, oder aber auch in Handbüchern, wie diesem Handbuch einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung für Jena, dem Handbuch Stadtklima des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW 2010) oder der Städtebaulichen Klimafibel Online (WMBW 2012), recherchiert werden.

Je nach Problemlage und Ausgestaltung der Handlungsoptionen kann es hierbei sinnvoll sein, Maßnahmenbündel zu bilden, die als Verbund bewertet werden. Die Zusammenstellung dieser Bündel sollte unter Berücksichtigung möglicher Synergien und Konflikte der jeweiligen Einzelmaßnahmen erfolgen. Der Vergleich von Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündeln kann durch die Betrachtung eines Referenz-Szenarios ergänzt werden, in dem keine neuen Maßnahmen umgesetzt werden. Dies kann bei der ökonomischen Bewertung explizit, d. h. als eigenständige Handlungsalternative, oder implizit, d. h. über eine Differenzbetrachtung der bewerteten Maßnahmen zum Referenz-Szenario, berücksichtigt werden.

10.3 AUSWAHL DER BEWERTUNGSVERFAHREN UND BEWERTUNGSKRITERIEN

Für die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die auf unterschiedliche Weise die mit den betrachteten Handlungsoptionen verbundenen Aufwendungen und die aus deren Umsetzung resultierenden Effekte gegenüberstellen. Soll eine Abwägung ausschließlich auf Grundlage des Verhältnisses

von Wirksamkeit (=Nutzen) und Kosten der zu bewertenden Handlungsoptionen getroffen werden und lassen sich diese beiden Größen in monetären Einheiten angeben, so stellt die **Kosten-Nutzen-Analyse (KNA)** ein geeignetes Instrument dar. Mit Hilfe der KNA kann diejenige Handlungsoption identifiziert werden, die nach Abzug der Kosten vom Nutzen den höchsten Netto-Nutzen aufweist. Alternativ kann auch eine Priorisierung auf Grundlage des Nutzen-Kosten-Verhältnisses vorgenommen werden.

Lässt sich der Nutzen der Handlungsoptionen nicht monetär bewerten, jedoch mit Hilfe der Ausprägung einer Zielgröße beschreiben, so können im Rahmen einer **Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA)** die notwendigen Kosten z. B. mit dem durch die Umsetzung zu erwartenden Grad der Zielerreichung ins Verhältnis gesetzt werden. So kann diejenige Handlungsoption ermittelt werden, die ein gesetztes Ziel mit den geringsten Kosten erreicht oder die bei gesetzten Kosten die höchste Wirksamkeit erzielt.

Besteht die Notwendigkeit, Handlungsoptionen unter Berücksichtigung mehrerer z. T. nicht monetär quantifizierbarer Kriterien gegeneinander abzuwägen, so bietet sich die Durchführung einer **Multikriterien-Analyse (MKA)** an. Durch verschiedene Varianten der MKA kann ein Vergleich aller Handlungsoptionen über alle Kriterien durchgeführt und auf dieser Basis eine Reihung der Optionen vorgenommen werden.

Die Datenvoraussetzungen für die einzelnen Verfahren sowie die spezifischen Rahmenbedingungen einer Bewertung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel – Nutzung mehrerer, häufig nicht-monetär skalierten Bewertungskriterien – favorisieren in vielen Fällen die Durchführung einer MKA zur Priorisierung bestehender Handlungsoptionen

Bei allen genannten Bewertungsverfahren können die Bewertungskriterien, anhand derer die Handlungsoptionen verglichen werden sollen, nach Kosten- und Nutzenaspekten differenziert und mit ihren möglichen spezifischen Ausprägungen definiert werden. Die ab-

schließende Auswahl der Bewertungskriterien sollte durch die Entscheidungsträger erfolgen. Die Skalierung der Kriterien hat dabei wesentlichen Einfluss auf die Auswahl eines geeigneten Verfahrens. Die Kriterien sollten geeignet sein, die relevanten kosten- und nutzenseitigen Auswirkungen einer Maßnahme abzubilden.

Um die Kosten einer Handlungsoption realistisch abzuschätzen, sollten über die primären Investitionskosten hinaus Reinvestitions- und Unterhaltungskosten sowie ggf. auch Transaktionskosten (Kosten der Projektanbahnung und Umsetzung) berücksichtigt werden. Es ist sinnvoll, für die Bewertung der Kosten Gegenwartswerte, d. h. Kostenbarwerte, zu verwenden.

Auf der Nutzenseite ist insbesondere die Wirksamkeit einer Handlungsoption, wie z. B. deren schadensmindernder Effekt, zu berücksichtigen. Weitere Kriterien, die in die Bewertung eingehen können, sind z. B. die Lebensdauer, die Akzeptanz durch verschiedene Anspruchsgruppen, der mit der Umsetzung und dem Monitoring verbundene personelle, organisatorische oder technische Aufwand, die Abhängigkeit des Nutzens von einem spezifischen Klimawandel-Szenario sowie positive oder auch negative Nebeneffekte.

10.4 DATENERHEBUNG

Für alle Handlungsoptionen müssen Werte, d. h. Ausprägungen der gewählten Bewertungskriterien, ermittelt werden. Da häufig nicht für alle Handlungsoptionen bereits Abschätzungen zu den einzelnen Kosten- und Nutzenaspekten vorliegen, müssen diese Daten oftmals durch Expertengespräche innerhalb der Kommunen erhoben werden. Die Einschätzungen der Experten lassen sich durch weitergehende Recherchen ergänzen und validieren.

Die so ermittelten Daten können z. T. mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein. Auch wissenschaftliche Modelle sind derzeit aufgrund der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen sozioökonomischen und klimatischen Entwicklung im besten Fall in der Lage, relativ grobe Abschätzungen der schadensreduzierenden Wirkung von Schutzmaßnahmen z. B. in Form von Wertespannen vorzunehmen. Auf Basis von Expertengesprächen gewonnene Daten stellen häufig ebenso überschlägige Abschätzungen der Maßnahmenwirkungen dar. Diese wenn auch mit Unsicherheiten behafteten Informationen sind erfahrungsgemäß dennoch eine wertvolle Grundlage für die Unterstützung von Entscheidungen und sollten daher den am Entscheidungsprozess Beteiligten zugänglich gemacht werden.

Wichtig ist, dass Unsicherheiten in den Daten dokumentiert und bei der Bewertung der Handlungsoptionen explizit berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann z. B. demonstriert werden, welche Auswirkungen eine Handlungsoption im besten bzw. im schlechtesten Fall hat. Dem Entscheidungsträger wird so die aus diesen Unsicher-

heiten resultierende Bandbreite der möglichen Maßnahmeneffekte aufgezeigt. Kommt ein Entscheidungsträger zu dem Schluss, dass die Datenlage nicht ausreicht, um eine Entscheidung zu treffen, besteht die Möglichkeit, einen Schritt zurückzugehen und die Datenbasis für ausgewählte Maßnahmen zu verbessern.

10.5 BEWERTUNG UND PRIORISIERUNG

Auf der Grundlage der erhobenen Daten erfolgt die abschließende Bewertung und Priorisierung der Handlungsoptionen gemäß dem gewählten Bewertungsverfahren.

Vorgehen Kosten-Nutzen-Analyse

Es wird angenommen, dass bereits Handlungsoptionen sowie der Bewertungszeitraum – üblicherweise bestimmt durch die Handlungsalternative mit der längsten erwarteten Lebensdauer – festgelegt wurden und dass Kosten und Nutzen der Alternativen in monetären Werten angegeben werden können.

- **Erfassung der Kosten und Nutzen der Handlungsalternativen im Bewertungszeitraum:** Für jedes Jahr des Bewertungszeitraums müssen die zu erwartenden Kosten und Nutzen jeder Alternative abgeschätzt werden. Bei der impliziten Berücksichtigung des Referenz-Szenarios geschieht dies im Vergleich zu dieser Situation, in der auf zusätzliches Handeln verzichtet wird. Investitionskosten fallen üblicherweise im Jahr 0 des Bewertungszeitraums an, laufende Kosten in jedem Jahr und ggf. sind nach einer gewissen Zeit Reinvestitionen notwendig. Der Nutzen von Klimaanpassungsmaßnahmen wird üblicherweise als durch die Maßnahme verminderte jährliche Schadenserwartung abgeschätzt. In monetärer Form ist dies nur durch Modellierungen möglich.
- **Diskontierung von Kosten und Nutzen:** Die Kosten bzw. Nutzen, die zeitnah entstehen, werden im Allgemeinen höher bewertet als diejenigen, die erst in ferner Zukunft anfallen, da z.B. das Geld in der Zwischenzeit anders angelegt werden kann. Um Kosten bzw. Nutzen aus unterschiedlichen Zeitpunkten vergleichbar zu machen, werden sie auf ihren Gegenwartswert (GW) abdiskontiert. Der Gegenwartswert der Kosten (oder auch Kostenbarwert) errechnet sich folgendermaßen:

$$GW(\text{Kosten}) = K_0 + \frac{K_1}{(1+d)} + \frac{K_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{K_T}{(1+d)^T}$$

Wobei K_0 bis K_T die Kosten aus den jeweiligen Jahren des Bewertungszeitraums sind und d die Diskontrate. Bei der häufig verwendeten Diskontrate von 3 % hieße das, dass die Kosten in Jahr 0 voll eingehen, die Kosten in Jahr 1 durch 1,03 geteilt werden,

die Kosten in Jahr 2 durch $1,03 \cdot 1,03$ geteilt werden etc. Für die Berechnung lässt sich leicht eine Excel-Tabelle anlegen. Das gleiche Vorgehen wird entsprechend für die Berechnung des Gegenwartswerts des Nutzens (oder Nutzenbarwert) durchgeführt.

- **Gesamtbewertung der Handlungsoptionen:** Für jede Handlungsalternative kann nun der Nettogegenwartswert (oder Nettonutzen) berechnet werden, indem der Kostenbarwert vom Nutzenbarwert abgezogen wird. Hat eine Handlungsoption einen negativen Nettogegenwartswert, so bedeutet dies eine Verschlechterung gegenüber der Referenz-Situation, in der keine Maßnahme umgesetzt wird. Ausgewählt wird diejenige Handlungsoption mit dem höchsten Nettogegenwartswert. Wenn mehr als eine Handlungsoption realisiert werden kann, z. B. wenn ein fixes Budget zur Verfügung steht und die Maßnahmen sich nicht gegenseitig ausschließen, kann auch statt des Nettogegenwartswerts die Nutzen-Kosten-Relation für die Bewertung verwendet werden. Diese ergibt sich, indem man Nutzenbarwert durch Kostenbarwert teilt. Diejenigen Alternativen mit den höchsten Nutzen-Kosten-Relationen werden ausgewählt, bis das Budget erschöpft ist.
- **Sensitivitätsanalyse:** Bestehen Unsicherheiten in den Eingangsdaten, z.B. ist nur die Angabe von Wertespanssen für Nutzen oder Kosten möglich, oder aber existieren Unsicherheiten bzgl. der Wahl der richtigen Diskontrate, sollten Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. D.h. das oben beschriebene Verfahren sollte für unterschiedliche Ausprägungen in den Eingangsdaten, z. B. Minima und Maxima der Kosten oder Nutzen, und/oder unterschiedliche Diskontraten durchgeführt werden, um zu prüfen, ob diese Variation der Werte einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis, d. h. die Bewertung der einzelnen Maßnahmen und deren Rangfolge, hat.

Vorgehen Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Es wird davon ausgegangen, dass bereits Handlungsoptionen sowie der Bewertungszeitraum festgelegt wurden und sich sämtliche Kosten der Handlungsoptionen in monetären Einheiten erfassen lassen. Für die Ermittlung des Nutzens wurde von den Entscheidungsträgern ein nicht-monetärer Zielindikator definiert, z. B. Wirksamkeit der Maßnahme: z. B. Reduzierung der Hitzebelastung, Schutz vor bis zu 100-jährlichen Hochwasserereignissen. Der Zielindikator kann in seiner Ausprägung quantitativ, z. B. Schutz von XX Einwohnern, oder auch qualitativ, z. B. geringe, mittlere, hohe Wirksamkeit, sein.

- **Erfassung der Kosten und Wirksamkeit der Handlungsalternativen im Bewertungszeitraum:** Wie bei der Kosten-Nutzen-Analyse sollten der Kostenbarwert der verschiedenen Handlungsoptionen berechnet und die Wirksamkeit jeder Alternative anhand des festgelegten Zielindikators abgeschätzt werden.

- **Gesamtbewertung der Handlungsoptionen:** Wurde zu Beginn ein Ziel definiert, das erreicht werden soll, also ein gewisser Wert des Zielindikators (z. B. Schutz vor bis zu 100-jährigen Hochwasserereignissen, Erreichung eines guten ökologischen Zustandes) so wird diejenige Alternative ausgewählt, die dieses Ziel zu den geringsten Kosten erreicht. Besteht hingegen ein fixes Budget und die Maßnahmen schließen sich nicht gegenseitig aus, so werden die Maßnahmen mit dem höchsten Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis ausgewählt, bis das Budget erschöpft ist.
- **Sensitivitätsanalyse:** Entsprechend der Kosten-Nutzen-Analyse können auch hier Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um zu überprüfen, welche Auswirkungen das Variieren der Eingangsdaten auf das Endergebnis hat.

Vorgehen Multikriterien-Analyse

Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren der Multikriterien-Analyse (MKA). Im Folgenden sollen lediglich zwei sehr einfache Formen kurz erläutert werden. Für komplexere Verfahren bietet sich die Nutzung einer Bewertungssoftware, wie z. B. Definite, D-Sight oder PRIMATE, an.

Es wird davon ausgegangen, dass von den Entscheidungsträgern bereits Handlungsoptionen, der Bewertungszeitraum sowie Kriterien festgelegt wurden, anhand derer die Alternativen bewertet werden sollen.

- **Gegenüberstellung der Handlungsoptionen:** Bildung einer Entscheidungsmatrix: Der erste Schritt der meisten multikriteriellen Verfahren ist es, eine Entscheidungsmatrix zu bilden. Dabei werden die Handlungsalternativen untereinander in Zeilen und die Bewertungskriterien nebeneinander in Spalten geschrieben. In die Felder der Matrix werden die Werte, d. h. die Ausprägungen der einzelnen Kriterien, für die jeweilige Alternative eingetragen. Diese Entscheidungsmatrix stellt zugleich das einfachste Verfahren der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung dar. Sie zeigt überblicksartig, wie die Alternativen in den einzelnen Kriterien abschneiden, d. h. wo deren jeweilige Stärken und Schwächen liegen. Die Matrix kann als Diskussionsgrundlage in Entscheidungsprozessen dienen, um die jeweiligen Vor- und Nachteile der Alternativen abzuwägen. Die Bildung einer eindeutigen Rangfolge ist so aber nur selten möglich.
- **Einfache Additive Gewichtung:** Die Bildung einer eindeutigen Rangfolge setzt voraus, dass die unterschiedlichen Kriterien zusammengefasst werden. Das einfachste Verfahren hierfür ist die Additive Gewichtung.
 - » **Standardisierung der Kriterienwerte:** Die Vergleichbarkeit der Kriterienwerte kann hergestellt werden, indem man sie zunächst alle auf Werte zwischen 0 und 1 standardisiert. Das

einfachste Vorgehen besteht darin, jeden Wert in der oben beschriebenen Entscheidungsmatrix durch den höchsten erzielten oder maximal möglichen Wert für das jeweilige Kriterium, d.h. in der jeweiligen Spalte der Entscheidungsmatrix, zu teilen. Kostet eine Alternative beispielsweise 2.000 EUR und die Kosten der teuersten Alternative sind 10.000 EUR, dann bekommt die erste Alternative den standardisierten Wert $2.000/10.000=0,2$ und die teuerste Alternative den standardisierten Wert 1.

- » **Gewichtung der Kriterien:** Die Kriterienwerte liegen somit in einer einheitlichen, neutralen Einheit vor und könnten so bereits aggregiert werden. Dies würde eine Gleichgewichtung aller Kriterien bedeuten. Eine solche Gleichgewichtung liegt aber in der Realität selten vor, d. h. häufig erachten Entscheidungsträger einige Bewertungskriterien für ihre Entscheidung für wichtiger als andere. Es sollte daher eine Gewichtung der Bewertungskriterien durch die Entscheidungsträger vorgenommen werden. Einfache Verfahren zur Gewichtung von Bewertungskriterien sind das 100-Punkte Allokations- und das „Swing-Weight“-Verfahren.
- » **Gesamtbewertung der Handlungsoptionen:** Die standardisierten Werte in der Entscheidungsmatrix werden jeweils mit dem ermittelten Gewicht des jeweiligen Bewertungskriteriums multipliziert. Anschließend werden alle standardisierten und gewichteten Kriterienwerte für jede Handlungsalternative aufaddiert. Je höher dieser Wert für eine Alternative ist, desto besser ist diese.
- » **Sensitivitätsanalyse:** Bei Unsicherheiten in den Eingangsdaten kann die Bewertung für unterschiedliche mögliche Ausprägungen, z. B. Minima und Maxima, wiederholt werden. Ebenso kann die Bewertung für unterschiedliche Gewichtungssets, z. B. für mehrere Entscheider-Gruppen, durchgeführt werden, um deren Auswirkungen auf die Rangfolge der Handlungsoptionen zu demonstrieren.

Bewertungssoftware PRIMATE

Soll ein anspruchsvolleres multikriterielles Verfahren angewendet werden, bietet sich die Nutzung einer Bewertungssoftware an. Ein solches Instrument ist bspw. das am UFZ entwickelte Instrument **Probabilistic Multi-Attribute Evaluation – PRIMATE**, das sowohl für die Durchführung einer KNA als auch einer MKA nach dem **Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations – PROMETHEE-Verfahren** verwendet werden kann. Bei dieser Variante der MKA wird eine Reihung der Handlungsoptionen auf Grundlage eines paarweisen Vergleichs der Alternativen über alle Bewertungskriterien vorgenommen. Dabei können gleichzeitig sowohl datenbezogene Unsicherheiten als auch Unsicherheiten berücksichtigt werden, die sich aus unterschiedlichen Einschätzungen der Relevanz der verwendeten Bewertungskriterien durch die an der Entscheidung beteiligten Anspruchsgruppen ergeben.

PRIMATE bereitet die Bewertungsergebnisse so auf, dass sowohl eine Rangfolge der Handlungsoptionen entsprechend deren Eignung als auch die Dokumentation der mit dieser Priorisierung verbundenen Unsicherheiten ausgegeben wird. Darüber hinaus kann jeweils ein Ranking für jede Entscheider-Gruppe ausgegeben werden. Diese durch einen systematischen Vergleich der Handlungsoptionen gewonnenen Informationen können die Entscheidungsträger dabei unterstützen, eine ausgewogene Entscheidung zu treffen.

Eine ausführliche Anleitung zur Durchführung des fünfstufigen Verfahrens zur Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen sowie nähere Informationen zum PROMETHEE-Verfahren und zu PRIMATE gibt Gebhardt et al. (2012).

GUTE BEISPIELE AUS JENA UND ANDEREN KOMMUNEN

11.

Im Folgenden sollen **Fallbeispiele** bzw. best practices vorgestellt werden, die sich auf vorbildhafte und nachahmenswerte Weise mit den Folgen des Klimawandels im urbanen Raum auseinandersetzen, diese in ihre Planungen einbeziehen oder den Herausforderungen kreativ begegnen. Im ersten Teil werden zwei Beispiele aus Jena vorgestellt, die bereits im JenKAS-Projekt begonnen wurden und sich in unterschiedlichen Stadien der Umsetzung befinden. Im zweiten Teil werden Fallbeispiele aus anderen Kommunen skizziert. Sie entstammen der KomPass-Tatenbank des Umweltbundesamts (UBA 2011) und beschreiben Anpassungsoptionen, die auch für die Stadt Jena Anregungen im Anpassungsprozess bieten können.

Trotz erfolgversprechender Beispiele aus anderen Kommunen dürfen die **Grenzen von best practices** nicht außer Acht gelassen werden. Nicht immer ist der Transfer eines Beispiels auf die eigene Situation problemlos möglich. In der Regel unterscheiden sich der Kontext bzw. die Rahmenbedingungen der Umsetzung einer Anpassungsoption und der Anwender steht vor der schwierigen Aufgabe, die Umsetzungsbedingungen im Fallbeispiel zu rekonstruieren und auf die eigene Kommune zu übertragen, was oft nur unter Anpassung des ursprünglichen Konzepts möglich ist. Die **erfolgreiche Anwendung** von best practices erfordert deshalb verschiedene Voraussetzungen:

- *zeitliche (und finanzielle) Ressourcen zur Suche geeigneter Fallbeispiele und die Fähigkeit, diese als relevant für die eigene Situation zu erkennen,*
- *Rekonstruktion des Kontextbezuges des Fallbeispiels, falls dieser nicht im Beispiel beschrieben ist,*
- *Kompetenz des best-practice-Anwenders, den Kontextbezug zu analysieren und auf die eigene Situation zu übertragen,*
- *zeitliche (und finanzielle) Ressourcen, diese Kompetenz ggf. zu erwerben.*

Für die interessierten Akteure ist eine tiefgehende Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Fallbeispiel somit unerlässlich, die meist auch die Kontaktaufnahme mit den Beteiligten des Fallbeispiels und

idealerweise einen Ortstermin einschließen sollte. Generell bietet es sich aber auch an, sich mit „**bad practices**“ oder „**worst practices**“ auseinanderzusetzen, um bereits gemachte Fehler nicht zu wiederholen (BMVBS 2011).

11.1 FALLBEISPIELE AUS JENA

Senkung des sommerlichen Hitzestresses auf dem Eichplatz

Jena ist durch eine besondere **Überhitzungsgefährdung** gekennzeichnet. Im besonderen Maße gilt dies für den Innenstadtbereich. Die Reduzierung verdunstungsaktiver Flächen infolge zunehmender Oberflächenversiegelung und die Art dieser Versiegelung spielen hierfür ebenso eine Rolle wie die besonderen stadtklimatischen Bedingungen. Aktuelle Klimaprojektionen lassen bis 2050 einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur um ca. 2 Kelvin und eine Verdopplung der heißen Tage (Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C) erwarten. Es ist somit mit einer weiteren Verschärfung der aktuellen Situation zu rechnen.

Im Zuge der **Neubebauung des Eichplatzes**, des größten öffentlichen Platzes im Jenaer Stadtzentrum, sollen bei der Auswahl des umzusetzenden Gestaltungskonzepts Aspekte der Nachhaltigkeit, des Klimaschutzes und der Klimaanpassung berücksichtigt werden. In Vorbereitung der Beurteilung der einzureichenden Konzepte sollten durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig - UFZ in einer Vorstudie die folgenden platzgestalterischen Handlungsoptionen hinsichtlich ihrer Eignung zur Verbesserung der mikroklimatischen Situation bewertet werden: Anlage einer Wasserfläche, Dach- und Fassadenbegrünung, Begrünung mit Pflanzkübeln, Verschattung durch Bäume, Dachüberstände und Markisen sowie Bodenversiegelung mit hellen Materialien.

Die folgenden **Bewertungskriterien** wurden im Rahmen einer multikriteriellen Analyse nach dem PROMETHEE-Verfahren (Kapitel 10)

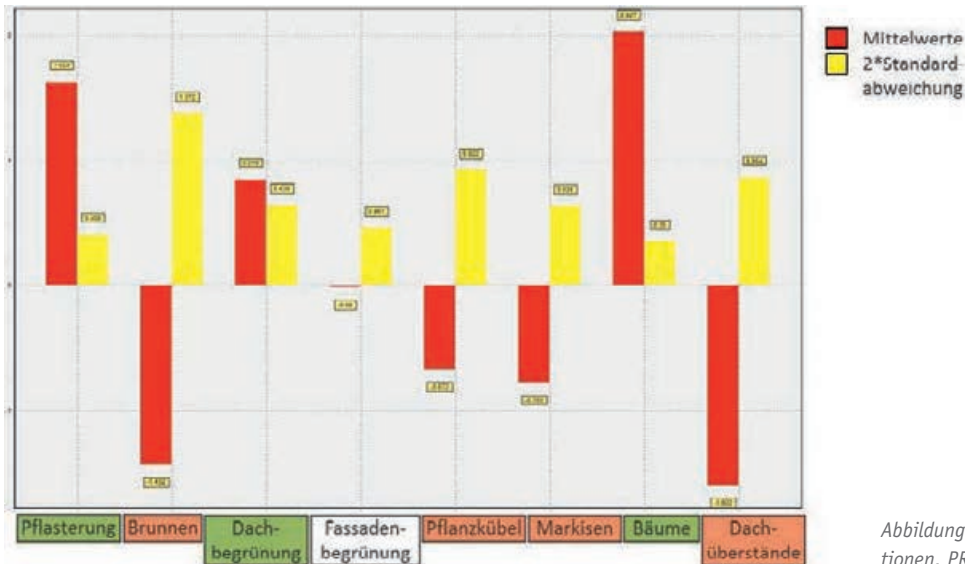


Abbildung 11.1: Nettoflüsse der bewerteten Handlungsoptionen, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)

Anmerkung: Nettoflüsse können als die Stimmen, die FÜR abzüglich der Stimmen, die GEGEN eine Handlungsoption gegenüber allen übrigen Alternativen sprechen, interpretiert werden.

für die vergleichende Analyse der Handlungsoptionen verwendet: Investitions-, Reinvestitions-, Unterhaltungskosten, technischer und zeitlicher Aufwand der Umsetzung, abkühlende Wirkung, Zeit bis zum Eintreten der Wirkung, Lebensdauer, Abhängigkeit des Nutzens vom Eintreten der erwarteten klimatischen Veränderungen, Synergien oder Konflikte mit anderen Maßnahmen gegen Überhitzung sowie positive Nebeneffekte.

Die für die Bewertung verwendeten Kriterien und deren Ausprägungen wurden durch **Konsultation der Verantwortlichen** für Planung, Umsetzung und Unterhaltung der betrachteten Maßnahmen festgelegt bzw. ermittelt. Unsicherheiten wurden über die Nutzung von Wertespanssen berücksichtigt. Auf Grundlage der Einschätzung von Experten aus der Stadtplanung sowie den Projekterfahrungen der Bearbeiter vom UFZ wurden im Rahmen der Vorstudie hypothetische aber plausible Gewichtungen für die Anspruchsgruppen (Stakeholder) „Bürger“, „Politiker“ und „Stadtplaner“ gesetzt.

Abbildung 11.1 zeigt das **Ergebnis der Gesamtbewertung**, d. h. der Abwägung unter Berücksichtigung aller Anspruchsgruppen. Je höher der rote Balken ist, desto besser wird die jeweilige Handlungsoption bewertet. Die gelben Balken spiegeln die Unsicherheiten wider, die sich aus der Verwendung von Wertespanssen und der simultanen Berücksichtigung der unterschiedlichen Kriteriengewichtungen der drei Anspruchsgruppen ergeben.

Trotz der daten- und gewichtungsbezogenen Unsicherheiten lässt sich auf Grundlage der genutzten Bewertungskriterien, Daten und Gewichtungen die besondere Eignung der drei **bestplatzierten Handlungsoptionen**: Verschattung durch Bäume, Bodenversiegelung mit hellen Materialien sowie Dachbegrünung feststellen. Die Platzbegrünung durch Pflanzkübel, Verschattung durch Markisen und Dachüberstände sowie die Anlage einer Wasserfläche sind im Sinne der Zielsetzung der Analyse weniger geeignete Handlungsoptionen. Die größten Unsicherheiten bestehen aufgrund der gewählten Kriteriengewichtungen bei der Beurteilung der Anlage einer Wasserfläche. Dies ist auf die hohe Bedeutung der nutzenseitigen Kriterien zurückzuführen, die für die Anspruchsgruppe „Bürger“ unterstellt wird. Abbildung 11.2 zeigt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse als Rangfolge der Handlungsoptionen.

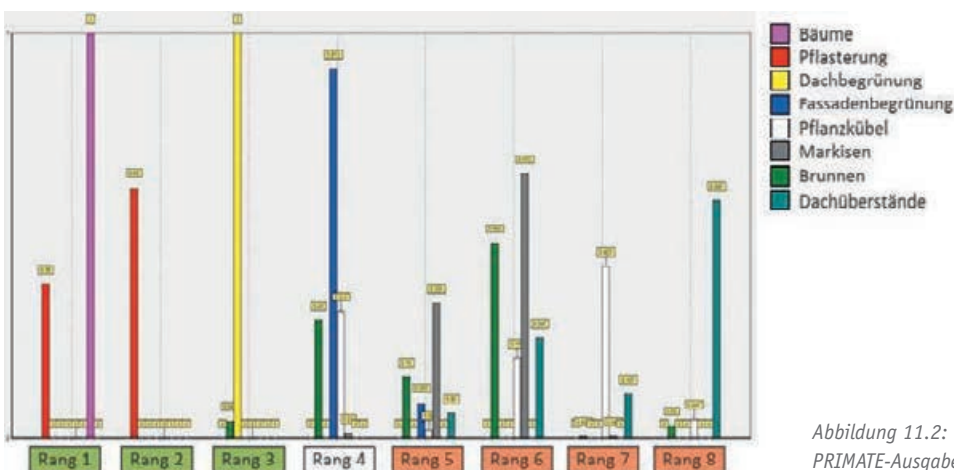


Abbildung 11.2: Rangfolge der bewerteten Handlungsoptionen, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)



Abbildung 11.3: Räumung am Leutra-Rechen 2006
(Quelle: Stadt Jena)

Hochwasserschutz an der Leutra

Die Leutra durchquert aus dem Mühlthal kommend das Jenaer Stadtgebiet, bevor sie im Paradies in die Saale mündet. Ab dem Carl-Zeiss-Platz wird die Leutra unterirdisch in einem ca. 560 m langen Kanal geführt. An der Kanaleinmündung kam es wiederholt zu Überschwemmungen. Davon waren nicht nur der Carl-Zeiss-Platz sondern auch die Untergeschosse der umliegenden Gebäude, z. B. die Baugrube des Einkaufszentrums Goethe-Galerie, betroffen (Abbildungen 5.5 und 11.3).

Eine Auswertung historischer Daten ergab, dass Überschwemmungen der Leutra vor allem infolge **sommerlicher Starkregenereignisse** auftraten. Der Zusammenhang zwischen Starkregenereignissen und **Überschwemmungen** konnte durch eine Auswertung der Einsatzprotokolle der Jenaer Feuerwehr und zeitlich hoch aufgelöster Niederschlagsdaten durch das Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (ThINK) bestätigt werden.

Die Stadt Jena ist bemüht, das Risiko erneuter Überschwemmungen nachhaltig zu senken. Eine hierfür notwendige Strategie, die die bestehenden Rahmenbedingungen berücksichtigt, muss sowohl langfristige als auch kurzfristige Elemente kombinieren. Kurzfristig kann vor allem auf die Gestaltung des **Einlaufs zum Leutra-Tunnel** Einfluss genommen werden. Der Einbau eines selbstreinigenden, treibgutabweisenden Einlaufgitters kann das Risiko des Überspülens des Eingangs zum Leutra-Tunnel und damit die Gefahr eine Überschwemmung im Innenstadtbereich erheblich senken. Das Ingenieurbüro Probst hat sechs unterschiedliche Ausführungsvarianten des neu zu gestaltenden Rechenbauwerks erarbeitet.

Die folgenden **Bewertungskriterien** wurden im Rahmen einer multikriteriellen Analyse (PROMETHEE-Verfahren, siehe Kapitel 10) verwendet: Kostenbarwert (100 Jahre, 3 % p. a. Diskontrate) auf Basis der Investitions-, Reinvestitions- und Unterhaltungskosten, Wirksamkeit, beschädigungsarme Wartung, ökologische und gestalterische Aspekte. Die notwendigen Daten wurden mit Hilfe der

Verantwortlichen für Planung, Umsetzung und Unterhaltung des Leutra-Rechens u. a. auf Basis eines vorliegenden ingenieurwissenschaftlichen Gutachtens ermittelt. Unsicherheiten wurden über die Nutzung von Wertespannen berücksichtigt. Die **Gewichtung der Kriterienwerte** wurde vom kommunalen Dienstleistungsunternehmen kommunal service jena (KSJ), das für den Bau und die Unterhaltung des Bauwerks verantwortlich ist sowie von Vertretern der Fachbereiche Bauen und Umwelt sowie Stadtentwicklung und Stadtplanung der Jenaer Stadt vorgenommen.

In Abbildung 11.4 ist das **Ergebnis der Gesamtbewertung**, d. h. der Abwägung unter Berücksichtigung der Entscheider-Gruppen KSJ, Fachbereich Bauen und Umwelt sowie Fachbereich Stadtentwicklung und Stadtplanung der Jenaer Stadt, dargestellt. Je höher der rote Balken ist, desto besser wird die jeweilige Variante im Vergleich zu den Alternativen bewertet. Die gelben Balken verdeutlichen die Unsicherheiten, die sich durch die simultane Verwendung unterschiedlicher Kriteriengewichtungen ergeben. Es zeigt sich, dass vor allem hinsichtlich der Bewertung von Variante 6 große Unsicherheiten bestehen. Diese sind vor allem auf die unterschiedliche Gewichtung der Kosten- gegenüber den Nutzenkriterien durch die Fachbereich der Stadt einerseits und KSJ andererseits zurückzuführen. Abbildung 11.5 zeigt das Ergebnis der Multikriterien-Analyse als Rangfolge der Ausführungsvarianten.

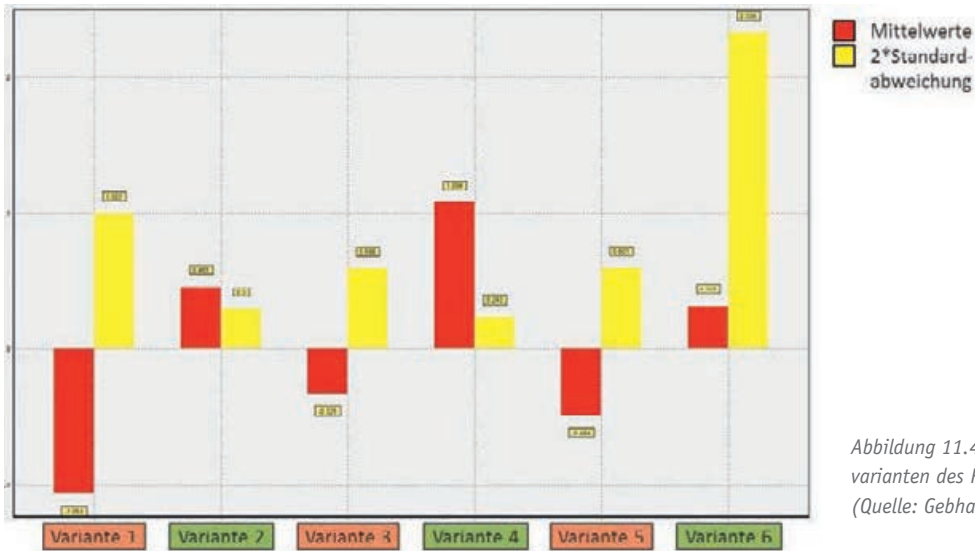


Abbildung 11.4: Nettoflüsse der bewerteten Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)

Anmerkung: Nettoflüsse können als die Stimmen, die FÜR abzüglich der Stimmen, die GEGEN eine Handlungsoption gegenüber allen übrigen Alternativen sprechen, interpretiert werden.

Das **Bewertungsergebnis** ist so zu interpretieren, dass die Ausführungsvariante 4 unter Berücksichtigung der verwendeten Bewertungskriterien, Daten und Gewichtungssets den Alternativen eindeutig vorzuziehen ist. Unter den getroffenen Annahmen schneidet die Variante 1 zweifellos am schlechtesten ab. Die aufwendige Variante 6 wäre aus Perspektive von zwei der drei Entscheidungsträger

ebenfalls geeignet, umgesetzt zu werden. Dieses Ergebnis ist aus den beschriebenen Gründen jedoch sehr unsicher. Eine belastbare Einschätzung der Variante 6 setzt daher einen Abstimmungsprozess voraus, der darauf abzielt, die Unterschiede zwischen den Kriteriengewichtungen zu verringern.

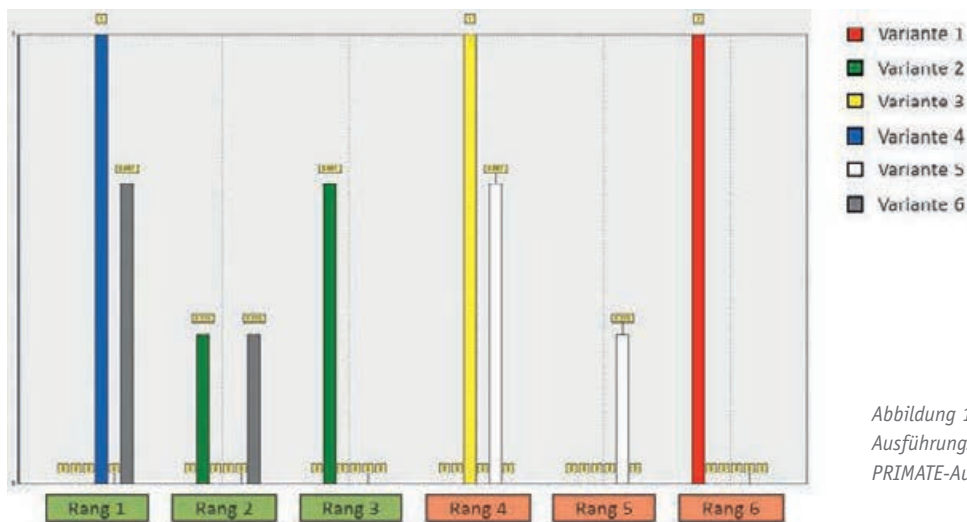


Abbildung 11.5: Rangfolge der bewerteten Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)



Abbildung 11.6: Rasenbahnkörper der Stadtbahn in Stuttgart
(Quelle: AUS 2010)

11.2 FALLBEISPIELE AUS ANDEREN KOMMUNEN

Stadtklimagerechte Planung in Zeiten des Klimawandels (Stadt Stuttgart)

» **Ziel des Projektes:**

Schutz von Grünflächen und kaltluftrelevanten Flächen und damit Reduzierung der Verwundbarkeit im Bereich Überhitzung von Stadtquartieren

» **Kurzbeschreibung:**

Stuttgart hat eine lange Tradition, stadtklimatische Belange in Planungen einzubeziehen. Zunehmend heiße Sommer und die Kessellage haben die Stadt gezwungen, sich darüber Gedanken zu machen, wie auch bei ungünstigen Wetterlagen für frische Luft zum Atmen gesorgt werden kann. Eine **Verbesserung des urbanen Wärmehaushalts** im Rahmen der Bauleitplanung soll durch den Erhalt und die Vergrößerung der Grünflächen in der Stadt, z. B. Wald und Parkanlagen, durch die Sicherung wichtiger Frischluftschneisen und Luftaustauschbahnen, aber auch durch Begrünungen erzielt werden. Im dicht bebauten Innenstadtbereich bieten auch Brachflächen die Möglichkeit zu einer stadtklimatischen Sanierung von Quartieren. Zu den bisherigen Erfolgen zählen unter anderem die Freihaltung wichtiger Frischluftschneisen, 300.000 m² Gründächer, durchgrünte Hangzonen, stadtklimatisch begründeter Rahmenplan Halbhöhenlagen sowie begrünte Stadtbahn- und zusätzliche Baumpflanzungen an Straßen. Die gewonnenen Erfahrungen können auch anderen Städten helfen, die erst seit Kurzem mit ähnlichen Herausforderungen kämpfen.

» **Eingesetzte Instrumente:**

Planungsinstrument (z. B. Planfeststellungsverfahren) sowie Information/Sensibilisierung

» **Eingebundene Personengruppen:**

breite Öffentlichkeit

Weblink » <http://bit.ly/WgKPCe>

Klimaplan Stadtentwicklung (Stadt Göttingen)

» **Ziel des Projektes:**

Im Klimaplan Stadtentwicklung werden vier Strategieansätze, die die Stadt Göttingen zur Verbesserung des Klimaschutzes in der Siedlungsplanung verfolgt als Maßnahmepakete zusammengefasst: Strategien zur Flächennutzung (Leitbild 2020, Baulandmanagement, Freiflächenkonzept, Umweltatlas etc.), Strategien zum Mobilitätsmanagement (Lärmaktionsplan, Luftreinhalteplan, Buskonzept Innenstadt etc.), Strategien zur Siedlungsplanung (strategische Ziele in der Bauleitplanung etc.), Strategien zur Klimafolgenanpassung (Hochwasserschutz Leine, CO₂-Bindung und Austauschfläche Stadtwald, Sicherstellung von Ausgleichs- und Austauschflächen etc.).

» **Kurzbeschreibung:**

Bei der Neuaufstellung des Flächennutzungsplans (FNP) der Stadt Göttingen soll erstmalig der Klimaschutz im Mittelpunkt stehen. Deswegen soll ein Klimaplan Stadtentwicklung zu einem selbständigen Baustein des FNP werden. Im Zuge der Ausarbeitung des Klimaplan Stadtentwicklung sollen auch konkrete **Handlungsansätze für eine klimagerechte Siedlungsentwicklung** in den Handlungsfeldern Flächennutzung, Mobilitätsmanagement, Siedlungsplanung und Klimafolgenanpassung angestoßen werden. Dabei spielt eine umfassende Einbeziehung gesellschaftlicher Gruppen eine wichtige Rolle. Die Bevölkerung wird in Stadtteilforen informiert und die Energie- und Wohnungswirtschaft in themenbezogenen Arbeitskreisen eingebunden. Mit einem eigenständigen, zusammenhängenden Planwerk schafft die Stadt Göttingen Voraussetzungen, den Belangen von Klimaschutz und Klimafolgenanpassung eine starke Stellung in planerischen Abwägungen zu verschaffen und Zielkonflikte von vornherein gering zu halten.

» **Eingesetzte Instrumente:**

Planungsinstrument (z. B. Planfeststellungsverfahren)

» **Eingebundene Personengruppen:**

Ein ressortübergreifender Handlungsansatz und die Mitnahme der privaten und öffentlichen Akteure bestimmen die Gestaltung des KPS

Weblink » <http://bit.ly/Vddb3>



Abbildung 11.7: Hofbegrünung in der Großbeerenstraße, Berlin-Kreuzberg (Quelle: GLB 2011)

Wettbewerb „Grüne Höfe – Gutes Klima“ (Stadt Berlin)

» Ziel des Projektes:

Mit dem Projekt sollen Bewohner vor allem der Berliner Innenstadtbezirke motiviert werden, ihren Hinterhof und ihre Wohnhäuser zu begrünen und damit die Folgen des Klimawandels in der Stadt zu mindern.

» Kurzbeschreibung:

Das Klima in der Region Berlin wird in den nächsten Jahren heißer und trockener. Besonders in den stark verdichteten Innenstadtbzirken wird dies erhebliche Auswirkungen für Menschen, Tiere und Pflanzen haben. Begrünte Höfe, Freiflächen, Fassaden und Dächer sorgen für ein gutes Klima in der Stadt (Abbildung 11.7). Nicht nur im meteorologischen, sondern auch im sozialen Sinne. »Grüne Höfe für ein gutes Klima« – unter diesem Motto setzt sich die GRÜNE LIGA Berlin - unterstützt von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung - seit Jahren für **klimafreundlichere Höfe** in Berlin ein. Der Bau einer begrünten Pergola, einer Fassaden- oder Dachbegrünung, die Entseigelung betonierter Flächen oder die Pflanzung eines Staudenbeetes machen einen Hof nicht nur schöner, sondern wirken vor allem auch den Folgen des Klimawandels entgegen. Mit dem Wettbewerb sollen diese Höfe ins Rampenlicht gebracht werden, die zahlreichen Hofbegrüner für ihr Engagement ausgezeichnet und damit auch allen anderen Berlinern Ideen für den Start möglichst vieler neuer Hofprojekte geliefert werden. Nähere Angaben zum Wettbewerb finden sich unter: www.grueneliga-berlin.de

» Eingesetzte Instrumente:

Freiwillige Vereinbarung, Kooperation, Information/Sensibilisierung

» Eingebundene Personengruppen:

Bewohner/-innen und Eigentümer/-innen von Mehrfamilienhäusern, Hausverwaltungen und Landschaftsplaner/-innen und -gärtner, auf deren Initiative oder unter deren Mitwirkung der begrünte Hof entstanden ist bzw. entstehen soll

Weblink » <http://bit.ly/TeEN17>



Abbildung 11.8: Dachbegrünung auf dem FiftyTwoDegrees Business Innovation Center, Nijmegen/Niederlande (Quelle: GRPD 2010)

Die Grüne Transformation der Stadt Nijmegen (Niederlande)

» Ziel des Projektes:

Mit einem Aktionsplan soll die Stadt Nijmegen fit für den Klimawandel gemacht werden und einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dazu sollen zahlreiche Wasser- und Begrünungsprojekte umgesetzt werden.

» Kurzbeschreibung:

Unter dem Motto „Grüne Attacke auf die Stadt“ startete die Stadt Nijmegen im Rahmen einer Klimakampagne eine grüne Transformation, welche die **systematische Begrünung** von Dächern, Fassaden, Stadtplätzen und Straßen beinhaltet (Abbildung 11.8). Grüne Dächer und Fassaden sollen die Bausubstanz kühlen, Wasser zurückhalten und energetisch dämmen. Betrachtete Aspekte sind zudem Maßnahmen zur CO₂-Reduktion, zum Wasserrückhalt und zur Luftreinigung. Das Ideenbuch „Grüne Verlockung Innenstadt“ illustriert, wie das Zentrum von Nijmegen grüner wird, Kunstobjekte das Medium Wasser visualisieren können und eine kühlende Wirkung erreicht werden kann. Insgesamt werden zehn Bestandsgebäude in öffentlicher Hand unter der Mithilfe beteiligter lokaler Akteure umgebaut. Ein konsequentes Monitoring ermittelt abschließend, welche positiven Auswirkungen auf das Stadtklima tatsächlich erzielt werden können.

» Eingesetzte Instrumente:

Direkte finanzielle Förderung (z. B. Subventionen, Zuwendungen)

» Eingebundene Personengruppen:

lokale Akteure, Künstler

Weblink » <http://bit.ly/RaMoNe>

Vorhersage für den 20.08.12 15 Uhr MEZ



Abbildung 11.9: Hitzewarnkarte des DWD (Quelle: DWD 2012c)

Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

» Ziel des Projektes:

Durch frühzeitige Warnung vor Wärmebelastung soll vor allem Einrichtungen des Öffentlichen Gesundheitswesens die Möglichkeit gegeben werden, rechtzeitig entsprechende Präventivmaßnahmen zu ergreifen.

» Kurzbeschreibung:

Langanhaltende Wärmebelastungen führen insbesondere bei älteren, pflegebedürftigen oder kranken Menschen zu erheblichen Gesundheitsrisiken. Flüssigkeitsmangel, Hitzekrämpfe und Hitzeschläge können die Folge sein. Da Hitzewellen im Zuge des Klimawandels in den nächsten Jahren häufiger auftreten werden, hat der Deutsche Wetterdienst (DWD) zum Schutz der Bevölkerung und in Absprache mit den zuständigen Gesundheitsbehörden ein **flächendeckendes, zweistufig-regionales Hitzewarnsystem** eingeführt (Abbildung 11.9). Als Grundlage für die Warnungen dient die „gefühlte Temperatur“, die vom DWD aus bestimmten Faktoren (relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Temperatur) für jeden Landkreis ermittelt wird. Wird der Schwellenwert von etwa 32 °C unter Beachtung von Region und Jahreszeit überschritten, folgt eine Warnung und man spricht von einer starken Wärmebelastung. Bei Überschreitung der 38 °C-Grenze ist von einer extremen Wärmebelastung auszugehen. Diese Warnmeldungen werden vom DWD vorzugsweise direkt an die betroffenen Einrichtungen geschickt oder können über behördliche Partner weitergeleitet werden. Mittlerweile ist jedes Bundesland an das System angeschlossen, wobei die Nutzung und Umsetzung in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich gehandhabt wird.

» **Eingesetzte Instrumente:** Information/Sensibilisierung

» **Eingebundene Personengruppen:**

Gesundheitsbehörden einiger Bundesländer, Alten- und Pflegeheime

Weblink » <http://bit.ly/UT3LLT>



Abbildung 11.10: Simulierter Oberflächenabfluss in Wuppertal (Quelle: IB Dr. Pecher 2012/Stadt Wuppertal 2012)

Anpassungsstrategie der Wuppertaler Stadtentwässerung an die Folgen des Klimawandels

» Ziele des Projektes:

Verbesserung des Schutzes der Bevölkerung und überflutungsgefährdeter kritischer Infrastruktur vor Sturzfluten und Hochwasser trotz wirtschaftlich schwieriger Rahmenbedingungen; Information der Bevölkerung und anderer an der Planung zu beteiligenden Entscheidungsträger zum Schutz vor Hochwasser- und Überflutungsgefahren und zur Sensibilisierung für das Thema; Aktivierung von Einsparpotenzialen durch innovative Ansätze und Methoden in der Planungsphase

» Kurzbeschreibung:

Im Verlauf von Starkregenereignissen, die wegen des Klimawandels in Häufigkeit und Intensität zunehmen sollen, drohen der Stadt Wuppertal Überflutungen. Grund hierfür sind die Nebengewässer, die zumeist verrohrt in das Kanalnetz integriert sind und sich bei Starkregenereignissen sowie starkem Gelände- und Straßengefälle, wie es für Wuppertal typisch ist, zu reißenden Sturzfluten entwickeln können. Um das Risiko einschätzen zu können, hat Wuppertal ein digitales Geländemodell der Stadt erstellen lassen, auf dessen Grundlage der **Oberflächenabfluss bei Starkregen** errechnet und am Computer simuliert werden kann. Besonders gefährdete Gebiete und Mulden können durch die Analyse von Fernerkundungsdaten identifiziert und anschließend mit anderen Daten zu gefährdeten öffentlichen Einrichtungen (Schulen, Krankenhäusern etc.) und kritischer Infrastruktur (Strom, Trinkwasser) verschnitten werden. Aus diesen Ergebnissen können Schutzmaßnahmen im Rahmen des vorsorgenden Bevölkerungsschutzes abgeleitet und die Prioritäten bei der Fortschreibung der Generalentwässerungspläne (GEP) neu festgelegt werden.

» **Eingesetzte Instrumente:** Freiwillige Vereinbarung und Kooperation, Planungsinstrument (z. B. Planfeststellungsverfahren), Information/Sensibilisierung sowie EDV-gestütztes Entscheidungshilfesystem SUDPLAN

» **Eingebundene Personengruppen:** Stadt; Wuppertalverband; Wuppertaler Stadtwerke; Aufsichtsbehörden; Feuerwehr; Betroffene Institutionen und Bürger

Weblink » <http://bit.ly/VdepJG>



Abbildung 11.11: Aufweitungsarbeiten am Kettlerbach in Arnsberg
(Quelle: Stadt Arnsberg 2012)

Maßnahmen zur Klimaanpassung an kleineren Gewässern in der Stadt Arnsberg (Nordrhein-Westfalen)

» **Ziel des Projektes:**

Durch die Renaturierung kleinerer Gewässern sollen die Auswirkungen von Starkregenereignissen gemindert werden.

» **Kurzbeschreibung:**

Das Beispiel der Stadt Arnsberg zeigt, wie kleine Kommunen Anpassung an den Klimawandel innerhalb ihrer Möglichkeiten vorantreiben können. Gerade in den Mittelgebirgslagen führen kleinere Gewässer das Wasser aus Starkregenereignissen sehr schnell und mit großer Heftigkeit in bebauten Bereiche. Um dieser Problematik entgegenzuwirken hat die Stadt Arnsberg vier kleineren Gewässern Raum geschaffen, sich bei Starkregenereignissen auszudehnen, ohne dass Bebauung in Ufernähe gefährdet ist. Dafür wurden vor den bebauten Bereichen **größere Aufweitungszonen** geschaffen, in denen sich das Wasser ausdehnen, an Energie verlieren sowie Geschiebe ablagern kann. Diese Aufweitungsbereiche wurden zusätzlich mit Auffangvorrichtungen (Rechen) für Geschwemmsel versehen. Im weiteren Verlauf wurde das Gewässerbett auf den doppelten bis dreifachen Querschnitt aufgeweitet. Dies geschah in enger Abstimmung mit den Anliegern, die hierfür unentgeltlich Teile ihrer Grundstücke zur Verfügung stellten. Der Erfolg der Maßnahmen wurde bereits unter Beweis gestellt: Erneute Starkregenereignisse verursachten im Bereich der betroffenen Bäche keine Sachschäden mehr, die andernfalls unvermeidbar gewesen wären.

» **Eingesetzte Instrumente:**

Freiwillige Vereinbarung, Kooperation, Planungsinstrument (z. B. Planfeststellungsverfahren), direkte finanzielle Förderung (z. B. Subventionen, Zuwendungen) sowie Information/Sensibilisierung

» **Eingebundene Personengruppen:**

Anwohner, ehrenamtlicher Naturschutz

Weblink » <http://bit.ly/Qv7QKE>

Klimaangepasste Gebäudesanierung (ErKlim - Erfolgsfaktoren für Klimaschutz & Klimaanpassung)

» **Ziel des Projektes:**

An einem Fallbeispiel sollen die Möglichkeiten und Kosten einer umfassenden baulichen Anpassung eines Wohnhauses an den Klimawandel anschaulich und somit kommunizierbar gemacht werden.

» **Kurzbeschreibung:**

Der inzwischen bereits deutlich spürbare und schadenträchtige Klimawandel erfordert die gleichzeitige Bewältigung von zwei Herausforderungen: Klimaschutz und Klimaanpassung. Jedoch bleibt die Umsetzung dieser Herausforderungen bis jetzt weit hinter den Möglichkeiten und Notwendigkeiten zurück, vor allem hinsichtlich der Handlungsfelder Bauen/Wohnen und Mobilität. Ausschlaggebend für eine Anpassungsstrategie sind für den Bereich Bauen und Wohnen die projizierbaren Größen Temperatur, Niederschlag, Wind/Stürme und die Meeresspiegelhöhe. Um den durch diese Faktoren verursachten Schaden an Wohnhäusern zu mindern, sollen sinnvolle **bauliche Maßnahmen identifiziert und ihre Kosten abgeschätzt** werden. Die notwendigen Berechnungen werden anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt und durchgeführt: Das zweigeschossige Einfamilienhaus (Bauhaus-Stil) weist ein Flachdach auf und befindet sich in Bern unmittelbar neben dem Fluss Aare. Das Fallbeispiel wird im KyotoPlus-Navigator, einem im Projekt „ErKlim – Erfolgsfaktoren für Klimaschutz & Klimaanpassung“ entstandenen Leitfaden dargestellt (www.erklim.uni-oldenburg.de). Die Kostenabschätzung dieses Beispiels lässt sich nur schwer übertragen, da die Variabilität an Häusern groß ist und die klimatischen Einwirkungen teilweise standortabhängig sind.

» **Eingesetzte Instrumente:** nicht aufgeführt

» **Eingebundene Personengruppen:** nicht aufgeführt

Weblink » <http://bit.ly/OKkxoQ>



Abbildung 11.12: Beispielmodul des Bildungsordners „Klarkommen mit dem Klimawandel“ (Quelle: MKULNV NRW 2012)

Bildungsordner „Klarkommen mit dem Klimawandel“ (Nordrhein-Westfalen)

» Ziel des Projektes:

Sensibilisierung von Jugendlichen für die Folgen des Klimawandels

» Kurzbeschreibung:

Der Klimawandel ist die wichtigste globale Herausforderung unserer Zeit. Mit den Folgen der Erwärmung muss sich vor allem die heute sehr junge Generation künftig auseinandersetzen. Der Klimawandel-Bildungsordner, den das NRW-Umweltministerium im Juni 2010 unter dem Titel „Klarkommen mit dem Klimawandel“ herausgegeben hat, sorgt für einen altersgerechten Umgang mit der Problematik. Mit leicht verständlichen Arbeitsblättern sowie spannenden und mit wenig Aufwand durchzuführenden Experimenten soll er Kinder und Jugendliche für dieses wichtige Thema sensibilisieren. Insgesamt besteht der Ordner aus sieben unterschiedlichen Modulen, in denen die Ursachen des Klimawandels und dessen Auswirkungen auf verschiedene Umwelt- und Lebensbereiche erklärt und erarbeitet werden – darunter Tier- und Pflanzenwelt, Landwirtschaft und Forst sowie Migration und Freizeitverhalten. Der Ordner bietet Lehrkräften die Möglichkeit, einzelne Unterrichtsstunden oder ganze **Unterrichtseinheiten zu gestalten**. Darüber hinaus beinhaltet er konkrete Vorschläge zur Planung von Projektwochen sowie eine CD-Rom mit vielen Hintergrundinformationen. Der Bildungsordner ist für Kinder und Jugendliche zwischen zehn und 16 Jahren geeignet und kann an allen weiterführenden Schulformen (Sekundarstufe 1) sowie im außerschulischen Bildungsbereich verwendet werden. Interessierte können den Ordner gegen eine Schutzgebühr von fünf Euro beim Umweltministerium bestellen: www.klimawandel.nrw.de.

» Eingesetzte Instrumente:

Information/Sensibilisierung

» Eingebundene Personengruppen:

nicht aufgeführt

Weblink » <http://bit.ly/RVWFFF>

Lernwerkstatt Klimawandel (Hessen)

» Ziel des Projektes:

Sensibilisierung von Schülerinnen und Schüler der Klassen 3 und 4 für die Auswirkungen des Klimawandels und den Schutz unseres Klimas

» Kurzbeschreibung:

Seit geraumer Zeit ist der Klimawandel Thema in den Medien und somit Gegenstand zahlreicher Diskussionen, die natürlich auch an Kindern nicht spurlos vorübergehen. Mit der „Lernwerkstatt Klima“ sollen Grundschulkinder an Themen wie Wetter, Klima, Klimawandel und Klimaschutz spielerisch herangeführt werden. Konzipiert wurde das Projekt vom Wassererlebnishaus Fulda in Kooperation mit den Klimaanpassungsbeauftragten der nordhessischen Landkreise sowie dem Fachzentrum Klimawandel des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Die „Lernwerkstatt Klimawandel“ ist ein durch Pädagogen **angeleitetes Halbtagesprogramm**, indem die Thematik für Kinder erlebbar gemacht wird, komplexe Zusammenhänge kindgerecht vermittelt sowie Handlungsmöglichkeiten im Alltag aufgezeigt werden. Experimente und Aufgaben beziehen die Kinder aktiv ein und fördern auf diese Weise einen spielerischen Zugang zum Thema. Zum Abschluss gibt es zwischen den Kindern und Lehrkräften eine Diskussionsrunde, um gemeinsam dem Klimawandel zu begegnen.

» Eingesetzte Instrumente:

Information/Sensibilisierung

» Eingebundene Personengruppen:

nicht aufgeführt

Weblink » <http://bit.ly/RFIPNY>

Projekt und Kooperationen

Die Stadt Jena befasst sich bereits seit geraumer Zeit intensiv mit dem Thema Klimaschutz. Seit 2009 gibt es verstärkte Bemühungen, die Auswirkungen des Klimawandels und die Anpassung daran vermehrt in der Stadtentwicklung zu berücksichtigen. Nach einem halbjährigen Vorprojekt 2009 bewarb sich die Stadt Jena im ExWoSt-Forschungsfeld „**Urbane Strategien zum Klimawandel**“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und wurde als eine von bundesweit neun Kommunen ausgewählt, am Projekt KlimaExWoSt teilzunehmen, das im Zeitraum von Dezember 2009 bis September 2012 durchgeführt wurde.

Neben einer Vielzahl lokaler Akteure konnten auch der **Deutsche Wetterdienst (DWD)**, die **Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)** bzw. die in ihr integrierte **Thüringer Klimaagentur** sowie das **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)** für umfangreiche Kooperationen im Projekt gewonnen werden, was eine bedeutende inhaltliche Erweiterung von JenKAS ermöglichte.

Rahmenbedingungen und Ausgangssituation

Die Anpassung an den Klimawandel findet nicht losgelöst von gesellschaftlichen Trends und Bedingungen statt. Um sie erfolgreich zu gestalten, müssen äußere Bedingungen beachtet werden. Im wesentlichen sind dies der **demographische Wandel** und der damit verbundene Stadtbau, die **finanzielle Umsteuerung** in Zeiten häufigerer und intensiverer Schadensereignisse infolge der Auswirkungen des Klimawandels und das Spannungsfeld von **Klimaschutz** und Klimawandel als ganzheitliche Aufgabe.

Jena ist aufgrund prosperierender Technologieunternehmen, der Universität und Fachhochschule sowie vielfältiger Forschungseinrichtungen eine sich **dynamisch entwickelnde Stadt**. Ein geringer Wohnungsleerstand bei anhaltend großer Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt ist die Folge. Gleichzeitig wird Jenas städtebauliche Situation durch die Lage im **engen mittleren Saaletal** bestimmt,

die eine Ausdehnung des Siedlungskörpers nicht zulässt. Die Stadt Jena begegnet diesem Problem neben einer **qualitätvollen Nachverdichtung** u. a. mit einer **qualifizierten Entwicklung** großer innerstädtischer, derzeit brachliegender Areale, deren Bebauung in den nächsten Jahren vorgesehen ist. Vor diesem Hintergrund ist zu klären, wie eine Stadtentwicklung aussehen kann, die sowohl die bestehende stadtklimatologische Situation verbessert als auch die Folgen des erwarteten Klimawandels berücksichtigt und zu einer klimaresilienten Stadt Jena führt.

Stadtklima und klimatische Auswirkungen des Klimawandels

Die städtische Bebauung beeinflusst die verschiedenen Klimatelemente wie Temperatur, Niederschlag oder Wind. Dies hat weitreichenden Einfluss auf die Bevölkerung, aber auch auf Flora und Fauna. Wesentliche Auswirkungen sind eine verstärkte **bioklimatische und lufthygienische Belastung** durch erhöhte urbane Temperaturen (Wärmeinseleffekt) und städtische Emissionen (Verkehr, Industrie). Das Relief Jenas bewirkt die Zufuhr von **Kalt- und Frischluft** aus der näheren (kleine Seitentäler) und weiteren Umgebung (Saaletal) mit positivem Einfluss auf das städtische Klima.

Der bereits für Jena bestehende Trend von ganzjährig **steigenden durchschnittlichen Temperaturen** wird sich zukünftig noch verstärken und zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode führen. Unter künftigen klimatisch veränderten Bedingungen wird für Jena mit einer Verdopplung von heißen Tagen (Höchstemperatur über 30°C) und seltenerem Auftreten von Frösten gerechnet. Unsicherheiten herrschen noch über die zukünftige saisonale Entwicklung der Niederschläge. Angenommen wird jedoch ein zukünftig häufigeres und intensiveres Auftreten von **Starkniederschlägen**. Als gesichert gilt hingegen die zukünftig verstärkte sommerliche Verdunstung mit negativen Auswirkungen auf die **klimatische Wasserbilanz**.



Jena – auf dem Weg zur klimaresilienten Stadt
(Quelle: Mustafa 2008)

Risiken und Chancen des Klimawandels

Der projizierte Klimawandel verursacht in Jena keine grundsätzlich neuen Probleme, verschärft jedoch bestehende Problemlagen. Aufgrund zunehmender sommerlicher Hitzeperioden werden künftig mehr Menschen von **Wärmebelastung** betroffen sein. Dies trifft besonders Bereiche, die auch heute schon bioklimatisch belastet sind, z. B. verdichtete Innenstadtlagen oder Industrie- und Gewerbegebiete. Es werden häufiger Trockenperioden auftreten, wodurch die **Wasserversorgung der Vegetation** verschlechtert wird. Betroffen sind das städtische Grün in verdichteten Lagen und die Waldbestände auf den Hochflächen um Jena ohne Grundwasseranbindung. Andererseits wird von einer Intensivierung der **Extremereignisse** ausgegangen. So werden sich vermutlich die Überschwemmungen an Vorflutern 2. Ordnung und im Bereich von Kanaleinläufen häufen. Für die Saale sind Aussagen zu Veränderungen von **Hochwassergefahren** noch unsicher. Die voraussichtlich intensiveren Starkniederschläge wirken sich auch auf **Erosionserscheinungen** aus und werden auf erosionsgefährdeten Ackerflächen zu vermehrtem Bodenabtrag führen.

Die steigenden Durchschnittstemperaturen erlauben eine Ausföhrung der Wohn- und Gewerbebauten, die gemeinsam mit den Anforderungen des Klimaschutzes zu **Energieeinsparungen** bei gleichzeitig steigender Nutzungsqualität führen. Zudem verbessert der Klimawandel die sommerlichen Bedingungen für den **Tourismus und die Freizeitaktivitäten**. So kann mit höheren Touristenzahlen gerechnet werden, einer vermehrten Akzeptanz von Freiluftveranstaltungen und eine höhere Auslastung der gastronomischen Außenbewirtschaftung. Auch führen die veränderten klimatischen Bedingungen durch Temperaturerhöhung und Verlängerung der Vegetationsperiode zu einer teilweisen Verbesserung der Möglichkeiten für die Landwirtschaft. So ist weiterhin der Anbau von **Sonderkulturen** möglich. Für die Stadt Jena bietet sich u. a. der Weinbau an verschiedenen sonnigen Hängen des Saaletals an.

Klimawandelgerechte Stadtentwicklung und Instrumente

Die projizierten Auswirkungen des Klimawandels auf den urbanen Raum erfordern eine Antwort der Stadtplaner und -entwickler. Gezieltes planerisches Handeln kann die **Verringerung der Vulnerabilität** städtischer Strukturen und die Verbesserung von Klimaschutz- und Anpassungskapazitäten bewirken. Die Umsetzung von Leitbildern, die eine **klimaresiliente Stadt** fördern, spielt hier eine exponierte Rolle. Dies trifft besonders für das Leitbild der „Kompakten Stadt“ zu, das auch für Jena Vorbildcharakter hat. Die Stadt ist bereits heute gut an den Klimawandel angepasst. Ihre lineare Grundstruktur mit verdichteten Knoten im Saaletal mit seinen zahlreichen Nebentälern ermöglicht die Heranführung von Kalt- und Frischluft und damit eine nächtliche thermische Entlastung, ihre horizontale Schichtung eine schnelle Erreichbarkeit umliegender Klimakomfortzonen am Tage. Gleichzeitig kann die Orientierung an (städte-)baulichen Lösungen aus Klimaten, die unseren künftigen Klimabedingungen entsprechen, helfen, die **Anpassungsfähigkeit** Jenas zu erhöhen.

Die klimawandelgerechte Stadtentwicklung kann sich bestehender Instrumente der Bauleit- und Flächennutzungsplanung bedienen. Mit der **Novelle des Baugesetzbuches** 2011 wurde die sachliche Einheit von Klimaschutz und Klimaanpassung fixiert und die Klimawandelanpassung als Abwägungsbelang gestärkt. Für die konkrete Implementierung in der täglichen Arbeit der Planer wurden im Handbuch zahlreiche Möglichkeiten der Darstellung bzw. Festsetzung von Anpassungsmaßnahmen im **FNP und B-Plan** aufgezeigt. Auch Umweltverträglichkeitsprüfung und Strategische Umweltprüfung bieten Ansatzpunkte für die Anpassung an den Klimawandel. Grundlegend kann vor allem das Konzept des „**Climate proofing**“ dazu beitragen, die künftige städtebauliche Entwicklung, aber auch den Bestand gegenüber den Auswirkungen des projizierten Klimawandels resilient zu gestalten.

JELKA und Handlungsempfehlungen

Das im Projekt JenKAS entwickelte **Entscheidungsunterstützungswerkzeug für lokale Klimawandelanpassung** (JELKA) soll den lokalen Akteuren bei der Auswahl geeigneter Klimaanpassungsmaßnahmen helfen. Es basiert auf freier Software und ist anpassbar bzw. erweiterbar. JELKA enthält neben einem Gesamtkatalog an Anpassungsoptionen und Karten spezifische Teilkataloge von Handlungsempfehlungen für die **drei Perspektiven** Handlungsfeld, Klimawirkfolge und Ortsteil. Die Handlungsempfehlungen für die Betrachtungsebene der Ortsteile wurden zusätzlich auch im Handbuch für die 30 Jenaer Ortsteile ausführlich dargestellt.

Für die vier wichtigsten Betroffenheiten wurden in einer Planhinweiskarte Handlungsempfehlungen verortet und gleichzeitig im JELKA aufbereitet. Für die **Wärmebelastung** zielen diese im wesentlichen auf eine Entsiegelung und Erhöhung der Durchgrünung, die Verbesserung der Durchlüftung, die technische Optimierung von Gebäuden und das Informationsmanagement ab. Handlungsempfehlungen zur **sommerlichen Trockenheit** beinhalten vor allem eine angepasste Artenwahl, die optimierte Bewässerung und Pflege und ein stärkeres Monitoring bzgl. Schädlingen und Waldbrandgefahr. Für die Betroffenheit durch **Hochwasser und Überschwemmungen** bieten sich insbesondere die Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche, die hochwasserangepasste Ausführung von Gebäuden, Infrastruktur und Kanalnetz sowie die Optimierung des Einsatz- und Informationsmanagements von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben an. Verstärkter **Erosion** sollte mit den bewährten Maßnahmen des Erosionsschutzes (Hecken, Zwischenfruchtanbau, Bearbeitungsart etc.) begegnet werden. Handlungsempfehlungen zu **Extremereignissen**, in diesem Fall besonders Starkregen, konnten aufgrund schlechter Datenlage nur vereinzelt verortet werden. Sie beinhalten Maßnahmen zur Anpassung der Stadtentwässerung bzw. baulichen Infrastruktur, zur flächenhaften Regenwasserversickerung und der Optimierung des Einsatz- und Informationsmanagements der Rettungskräfte.

Ergebnisse und Ausblick

Im Projekt JenKAS wurde eine Vielzahl von Ergebnissen erarbeitet. Das vorliegende **Handbuch** ist eines der Endprodukte des Projektes und fasst die Ergebnisse der Arbeit zu diesem Thema zusammen. Weitere Produkte stellen das umfassende **Kartenwerk**, das Entscheidungsunterstützungswerkzeug **JELKA** mit seinen **Empfehlungskatalogen**, der umfangreiche **Bericht** zu den Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die **Expertise** des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) und die projektbegleitende **Internetseite** (www.jenkas.de) dar.

In Anknüpfung an das Forschungsvorhaben JenKAS ist 2013 die Teilnahme der Stadt Jena am europäischen **Verbundprojekt „BASE“** als Modellkommune für den Beitrag des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung Leipzig (UFZ) vorgesehen. Weiterhin soll der bisher im Projekt weniger stark untersuchte Aspekt Gesundheit durch Mitwirkung am **BMU-Vorhaben** „Analyse gesundheitsförderlicher kommunaler Strukturen, Prozesse und Instrumente zur Anpassung an den Klimawandel an der Schnittstelle zwischen Umwelt, Gesundheit und Planung“ im Rahmen eines Projektes der Universität Bielefeld 2013 näher betrachtet werden. Die erarbeitete Anpassungsstrategie soll weiterhin nach Projektabschluss als **informelle Planung** durch den Stadtrat bestätigt werden und in die Fachplanungen der Stadtverwaltung implementiert sowie in die Abwägung einer künftigen Fortschreibung des FNP und wenn möglich in der verbindlichen Bauleitplanung eingestellt werden. Damit wird Klimaanpassung als Abwägungsbelang gestärkt und in der täglichen Arbeit der Planer und Akteure umgesetzt, was eine verbesserte Berücksichtigung von Klimabelangen in den verschiedenen Fachplanungen und bei der Umsetzung konkreter Vorhaben bedeutet.

Im Verbund mit den Modellkommunen und bereichert um die aktuellen Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung stärkt das umfangreiche Forschungsvorhaben die Bemühungen der Stadt Jena, die Herausforderung Klimaschutz aktiv anzugehen und sich parallel frühzeitig und umfassend auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten.

LITERATUR

Verwendete Quellen

- Alcamo, J. (2008): Environmental Futures: The Practice of Environmental Scenario Analysis. Amsterdam.
- Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart (AUS) (Hrsg.) (2010): Der Klimawandel – Herausforderung für die Stadtklimatologie. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 3. Stuttgart.
- Beratungs- und Service-Gesellschaft Umwelt mbH (BSU) (2011): EEA-Kommunen: Jena.
<http://www.european-energy-award.de/eea-kommunen-profil?k=45> (Stand: xx.xx.2011, Besucht: 29.06.2012).
- Beyer, I. (2002a): Massenverlagerungen an der Wellenkalk-Schichtstufe im Thüringer Becken und ihre Abhängigkeit von morphometrischen Steuerungsfaktoren. Trierer Geographische Studien, Heft 25, S. 143-160.
- Beyer, I. (2002b): Verbreitung und Eigenschaften von Massenverlagerungen an der Wellenkalk-Schichtstufe im Thüringer Becken unter besonderer Berücksichtigung geomorphologischer und klimatologischer Steuerungsfaktoren. Dissertation, Universität Halle.
- Birkmann, J., Böhm, H. R., Buchholz, F., Büscher, D., Daschkeit, A., Ebert, S., Fleischhauer, M., Frommer, B., Köhler, S., Kufeld, W., Lenz, S., Overbeck, G., Schanze, J., Schlipf, S., Sommerfeldt, P., Stock, M., Vollmer, M., Walkenhorst, O. (2011): Glossar Klimawandel und Raumplanung. E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 10. Hannover.
- Birkmann, J. und Fleischhauer, M. (2009): Anpassungsstrategien der Raumentwicklung an den Klimawandel: „Climate Proofing“ – Konturen eines neuen Instruments. Raumforschung und Raumordnung, Heft 2, S. 114-127.
- Brandt, K. (2007): Die ökonomische Bewertung des Stadtklimas am Beispiel der Stadt Essen. Essener Ökologische Schriften, Band 25, Essen.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2005): Raumordnungsbericht 2005. Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.) (2010): Urbane Strategien zum Klimawandel - Modellvorhaben (I).
http://www.bbsr.bund.de/nn_21888/BBSR/DE/FP/ExWoSt/Forschungsfelder/2010/UrbaneStrategienKlimawandel/Forschungsschwerpunkt1/05__Modellvorhaben.html (Stand: xx.xx.2010; Besucht: 05.07.2012).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.) (2011): KlimaExWoSt-Stadtklimatse. ExWoSt-Konferenz „Hitze in der Stadt“. <http://www.stadtklimatse.net/exwost-konferenz-hitze-in-der-stadt> (Stand: xx.xx.2011; Besucht: 05.07.2012).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.) (2012): KlimaExWoSt-Stadtklimatse. Maßnahmenkatalog.
<http://www.stadtklimatse.net/massnahmenkatalog> (Stand: xx.01.2012; Besucht: 05.07.2012).
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg.) (2011): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. Forschungen, Heft 149. Bonn.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BMVBS/BBSR) (Hrsg.) (2009): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation 23/2009. Berlin.
- Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (BR) (Hrsg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.
- Castro, D.; Einfalt, T.; Frerichs, S.; Friedeheim, K.; Hatzfeld, F.; Kubik, A.; Mittelstädt, R.; Müller, M.; Seltmann, J.; Wagner, A. (2008): Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS). Abschnitt A: Datenbank. Aachen, Hohenpeißenberg.
- Damm, B. (2005): Gravitative Massenbewegungen in Südniedersachsen. Die Altmündener Wand - Analyse und Bewertung eines Rutschungstandortes. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement-Band 138, S.189-209.
- Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (DIFU) (Hrsg.) (2012): Ingenieurbüro Dr. Lauenroth - WTU CONSULT. Referenzen: Energiekonzept (2007) der Stadt Jena. <http://www.kommunaler-klimaschutz.de/node/464> (Stand: xx.xx.2012, Besucht: 29.06.2012).

- Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.) (2012a): Stadtklimastudie für die Kaltluftsituation im Raum Jena. Offenbach, Potsdam.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.) (2012b): Stadtklimasimulationen mit dem Modell MUKLIMO_3 zur Veränderung sommerlicher Temperaturverhältnisse durch Klimawandel und Bebauungsänderungen in Jena. Ein Beitrag zum ExWoSt-Projekt JenKAS. Offenbach, Potsdam.
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (Hrsg.) (2012c): Thermischer Gefahrenindex – Vorhersage. <http://www.dwd.de/hitzewarnung> (Stand: 20.08.2012, Besucht: 20.08.2012).
- Dörfer, S. (2004): Stadtklimatische Untersuchungen im Raum Jena. Diplomarbeit. Jena.
- Fiedler, F. (2000): Photosmog und bodennahes Ozon. *Promet – Meteorologische Fortbildung*, Heft 26/3, S. 85-180.
- Folke, C. (2006): Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, Heft 16/3, S. 253-267.
- Forkel, M. (2008): Regionale Windsysteme. <http://www.klima-der-erde.de/winde.html> (Stand: 12.01.2008, Besucht: 19.04.2012).
- Gebhardt, O.; Brenck, M.; Meyer, V.; Melch, S., Hansjürgens, B. (2012): Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung. Leipzig.
- Geißel, B. (2007): Zur (Un-)Möglichkeit von Local Governance mit Zivilgesellschaft. Konzepte und empirische Befunde. In: Schwalb, L.; Walk, H. (Hrsg.): *Local Governance – mehr Transparenz und Bürgernähe?* Wiesbaden, S. 23-38.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hrsg.) (2011a): Klima-Bilanz 2010. <http://www.gdv.de/2011/12/allein-in-deutschland-13-millionen-schaeden-durch-naturereignisse-kosten-steigen-auf-15-milliarden-euro> (Stand: 16.12.2011, Besucht: 14.06.2012).
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hrsg.) (2011b): Herausforderung Klimawandel. Antworten und Forderungen der deutschen Versicherer. Berlin.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hrsg.) (2011c): Der Klimawandel betrifft uns alle. Interview mit Thomas Vorholt, Vorstandsmitglied der VGH Versicherungen. <http://www.gdv.de/2011/06/interview-der-klimawandel-betrifft-uns-alle> (Stand: 09.06.2011, Besucht: 14.06.2012).
- Greenroof Projects Database (GRPD) (Hrsg.) (2010): FiftyTwoDegrees Business Innovation Center. <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=528> (Stand: xx.xx.2010, Besucht: 29.06.2012).
- Greeuw, S.; Asselt, M. v.; Grosskurth, J.; Storms, C.; Rijkens-Klomp, N.; Rothmann, D.; Rotmans, J. (2000): Cloudy crystal balls. An Assessment of Recent European and Global Scenario Studies and Models. Experts corner report Prospects and scenarios, No. 4, European Environment Agency, Kopenhagen. http://www.eea.europa.eu/publications/Environmental_issues_series_17 (Stand: 14.12.2000, Besucht: 28.09.2012).
- Greiving, S. (2004): Risikoabschätzung und -management von Natur- und Technikgefahren als Aufgaben für die Strategische Umweltprüfung. UVP-Report, Heft 4, S. 179-182. Hamm.
- Greiving, S. (2011): ESPON-Daten zur Hochwassergefährdung. Persönliche Mitteilung/e-Mail vom 27.06.2011, 07:53.
- Grüne Liga Berlin e.V. (GLB) (Hrsg.) (2011): Grüne Höfe für ein gutes Klima. Die Broschüre zum Wettbewerb. Berlin.
- Hallegatte, S. (2009): Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, Heft 19/2, S. 240-247.
- Holling, C. S. (1973): Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Heft 4, S. 1-23.
- Hübler, K.-H. (2005): Methoden und Instrumente der räumlichen Planung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover, S. 635-641.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2007a): A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2007b): Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.) (2007c): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge.
- JenaWasser (Hrsg.) (2012): Woher kommt unser Trinkwasser? <http://www.jenawasser.de/trinkwasser/versorgungsanlagen.html> (Stand: xx.xx.2012, Besucht: 07.09.2012).
- Johnsen, G. (1981): Bewegungsmessungen im Bereich von Blockrutschungen an der Röt/Wellenkalk-Schichtstufe Thüringens. *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, Heft 27/8, S. 386-392.
- Korndörfer, C. (2010): Die angepasste Stadt – zwischen Zersiedelung und Verdichtung. Beitrag zum 2. REGKLAM-Regionalforum: „Klimaanpassung als Herausforderung für die Modellregion Dresden“ am 25.02.2010. Dresden.
- Krauter, E. (1994): Hangrutschungen und deren Gefährdungspotential für Siedlungen. *Geographische Rundschau*, Heft 7/8, S. 422-428.

-
- Kuttler, W., Dütemeyer, D.; Barlag, A.-B. (2001): Stadtklimaanalyse und Luftreinhalteplan (Teil Klima) von Gera. Abschlussbericht. Essen.
- Kuttler, W. (2004): Stadtklima. Teil 1: Grundzüge und Ursachen. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung: Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie*, Heft 16/3, S. 187–199.
- Kuttler, W. (2011a): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen. *Environmental Sciences Europe*, 23:11, S. 1-12.
- Kuttler, W. (2011b): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen. *Environmental Sciences Europe*, 23:21, S. 1-15.
- Met Office (Hrsg.) (2012): Global Average Near-Surface Temperatures 1850-2011. http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/monitoring/CR_data/Monthly/Hadplot_globe.gif (Stand: xx.03.12, Besucht: 29.05.2012).
- Min, S.; Zhang, K.X.; Zwiers, F.W.; Hegerl, G.C. (2011): Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, Heft 470, S. 378–381.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) (Hrsg.) (2012): Bewusstsein wecken und schärfen: Der Bildungsordner „Klarkommen mit dem Klimawandel“ für Kinder und Jugendliche. http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/uebergreifende_aktivitaeten/projektseite_01/index.php (Stand: xx.xx.201x, Besucht: 03.07.2012).
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen- und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Essen.
- Ostrowski, A. (2006): Gefahrenanalyse für Sturzprozesse in der Wellenkalk-Schichtstufe im Raum Jena. Studienprojekt am Institut für Geographie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, (unveröffentlicht).
- Pall, P., Aina, T., Stone, D.A., Stott, P.A., Nozawa, T., Hilberts, A.G.J., Lohmann, D., Allen, M.R.: (2011): Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature*, Heft 470, S. 382–385.
- Plasse, J. (1923): Bergstürze im Unteren Muschelkalk bei Jena und Kahla. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Jena*, Band 37, S. 42–52.
- Roloff, A., Bonn, S.; Gillner, S. (2008): Baumartenwahl und Gehölzverwendung im urbanen Raum unter Aspekten des Klimawandels. Vortrag auf der Fachtagung „Historische Gärten im Klimawandel“, Badenweiler 10. April 2008. <http://www.klimawandelgarten.de/files/vortrag-roloff.pdf> (Stand: 09.12.2008, Besucht: 06.07.2012).
- Roloff, A. und Grundmann, B. (2008): Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme. Dresden.
- Sächsisches Staatsministerium des Innern, Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Sächsisches Staatsministerium für Soziales und Verbraucherschutz, Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport & Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SSMI et al.) (Hrsg.) (2011): Richtlinie zur Gewährung von Zuwendungen bei Elementarschäden. <http://revosax.sachsen.de/Text.link?stid=14712> (Stand: 29.11.2011, Besucht: 14.06.2012).
- Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) (Hrsg.) (2011): Kompendium Klima - Sachsen im Klimawandel. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/24253.htm> (Stand: 06.06.2012, Besucht: 06.06.2012).
- Selle, K. (1996): Was ist bloß mit der Planung los? Erkundungen auf dem Weg zum kooperativen Handeln. Ein Werkbuch. *Dortmunder Beiträge zur Raumplanung*, Heft 69. Dortmund.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (SSB) (Hrsg.) (2009): Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin. Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (SSB) (Hrsg.) (2011): Stadtentwicklungsplan Berlin. Berlin.
- Smit, B.; Pilifosova, O. (2001): Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity. In: McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. (Hrsg.): *Climate Change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, S. 877-912.
- Smith, J. B.; Schellnhuber, H. J.; Qader Mirza, M. M. (2001): Vulnerability to Climate Change and Reasons for Concern: A Synthesis. In: McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. (Hrsg.): *Climate Change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, S. 913-967.
- Stadt Arnberg (Hrsg.) (2011): Hochwasserschutz. <http://www.arnsberg.de/umwelt/wasser/hochwasserschutz.php> (Stand: xx.xx.20xx; Besucht: 03.07.2012).
- Stadt Jena (Hrsg.) (2007): Monitoringbericht zum Stadtumbau „Wohnstadt Jena – Stadtumbau und kommunale Wohnraumversorgung“. Kapitel B 3.4, Stand November 2007. Jena.
- Stadt Jena (Hrsg.) (2011): Zum zweiten Mal: European Energy Award in Gold. http://www.ksj.jena.de/sixcms/detail.php?id=185165&_lang=de (Stand: 14.01.2011, Besucht: 03.07.2012).
- Stadt Wuppertal (Hrsg.) (2012): Anpassungsstrategie der Wuppertaler Stadtentwässerung an die Folgen des Klimawandels. <http://www.wuppertal.de/rathaus-buergerservice/medien/dokumente/Klimawandel-Anpassungsstrategie-Wuppertal.pdf> (Stand: xx.xx.2012, Besucht: 03.07.2012).

-
- Statistisches Bundesamt (SBA) (Hrsg.) (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.
- Sturm, U. (2007): Leitbilder für den Umgang mit zunehmender Leere am Beispiel von drei brandenburgischen Städten. Städte im Umbruch, Heft 4, S. 49-56.
- Sustainability Center Bremen (SCB) (Hrsg.) (2009): Klimaanpassung in Planungsverfahren. Leitfaden für die Stadt- und Regionalplanung. Bremen.
- Thüringer Klimaagentur (TKA) (2012): Auch deutsche Messstationen belegen steigenden Trend der atmosphärischen CO₂-Konzentration. http://www.tlug-jena.de/imperia/md/content/tlug/abt4/klima/CO2_trend.pdf (Stand 2012, Besucht 7.9.2012).
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (Hrsg.) (2009): Anpassung der Thüringer Landwirtschaft an den Klimawandel. Erarbeitet im August 2008 im Projekt „Landwirtschaft und Klimawandel“ der TLL. Jena.
- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) (Hrsg.) (2012): Regionaldifferenzierte Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Erträge von wichtigen Fruchtarten im Freistaat Thüringen mittels Ertragssimulation mit YIELDSTAT. Jena.
- Thüringer Landesamt für Statistik (TLS) (Hrsg.) (2008): Voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung 2009 bis 2030 nach Kreisen in Thüringen. <http://www.tls.thueringen.de/datenbank/TabAnzeige.asp?tabelle=lz000102> (Stand: xx.xx.2009, Besucht: 13.06.2012).
- Thüringer Landesamt für Statistik (TLS) (Hrsg.) (2009): Voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung 2009 bis 2030 nach Kreisen in Thüringen. <http://www.tls.thueringen.de/datenbank/TabAnzeige.asp?tabelle=kz000111> (Stand: xx.xx.2009, Besucht: 13.06.2012).
- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) (Hrsg.) (2005): Der Subrosionskataster Thüringen der TLUG, ein Hilfsinstrument zum Erkennen des Georisikos Erdfälle und -einsenkungen. http://www.tlug-jena.de/umweltdaten/umweltdaten2005/ub2005/geo_land_dst.htm (Stand: 22.11.2006, Besucht: 28.08.2012).
- Thüringer Landeszeitung (TLZ) (Hrsg.) (1993): Wetter-Katastrophe am Montag abend – Einsatz war sehr gut koordiniert. Regionalausgabe Jena vom 07.07.1993, S. 9.
- Thüringer Ministerium für Bau und Verkehr (TMBV) (Hrsg.) (2006): Demographiebericht Thüringen. Erfurt.
- Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr (TMBLV) (Hrsg.) (2011): Demographiebericht Thüringen 2011 – Teil 1. Erfurt.
- Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU) (Hrsg.) (2009): Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm. Erfurt.
- Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF) (Hrsg.) (2007): Klimaschutz und Klimawandel, Rolle der Forstwirtschaft. Tagungsband und Projektvorstellung. Gotha.
- Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF) (Hrsg.) (2010a): Forstwirtschaft in Zeiten des Klimawandels. Von Anpassung bis Klimaschutz. Mitteilungen 30/2010. Gotha.
- Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF) (Hrsg.) (2010b): Schritte einer Strategie zur Anpassung an den Klimawandel für die Forstwirtschaft in Thüringen. http://www.waldundklima.de/klima/tlwjf_tas_wald_01.php (Stand: 06.05.2010, Besucht: 06.09.2012). Gotha.
- Thüringer Staatskanzlei (TSK) (Hrsg.) (2011): Regierungserklärung vom 24. März 2011 zum Energiekonzept Thüringen 2020. Erfurt.
- Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2011): KomPass-Tatenbank. Datenbank für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. <http://www.tatenbank.anpassung.net> (Stand: xx.06.2012, Besucht: 06.07.2012).
- University of Wisconsin-Madison (UWM) (Hrsg.) (2011): Urban Heat Island (or UHI). <http://cimss.ssec.wisc.edu/climatechange/globalCC/lesson7/UHI2.html> (Stand: 14.11.2011, Besucht: 19.04.2012)
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (1997): Richtlinie 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie - Klima- und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Hrsg.) (2008): Richtlinie 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lüfthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Düsseldorf.
- Wikipedia (2011): Wärmeinsel. http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Urban_heat_island_%28Celsius%29.png&oldid=61459694 (Stand: 23.11.2011, Besucht: 19.04.2012)
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (WMBW) (Hrsg.) (2012): Städtebaulichen Klimafibel Online. Hinweise für die Bauleitplanung. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de> (Stand: 14.02.2012, Besucht: 18.04.2012)

Handbücher und Leitfäden

Im folgenden werden verschiedene Handbücher, Leitfäden, Schriften und Internetseiten zum Thema Klimaanpassung im urbanen Raum aufgeführt, die für die Beschäftigung der Akteure mit dem Thema sehr empfehlenswert sind, da sie entweder besonders **praxisorientiert oder thematisch vertiefend** sind. Einige sind bereits in obiger Liste enthalten, werden hier aber ihrer Bedeutung wegen noch einmal genannt. Die Auswahl fokussiert speziell auf kostenfrei im Internet verfügbare Materialien, die einen unkomplizierten Zugang ermöglichen.

- *Der Klimawandel – Herausforderung für die Stadtklimatologie.* http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_klimawandel_heft-3-2010
- *Glossar Klimafolgen und Anpassung.* http://www.anpassung.net/cln_108/nn_700470/DE/Service/Glossar/glossar__node.html?__nnn=true
- *Glossar Klimawandel und Raumentwicklung.* <http://shop.arl-net.de/glossar-klimawandel-raumentwicklung.html>
- *Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel.* http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte_und_ballungsraeume/projektseite_01/index.php
- *Klimaanpassung in Planungsverfahren.* <http://www.klimazwei.de/LinkClick.aspx?fileticket=Vz2iQ1bB6gQ%3D&tabid=144&language=de-DE>
- *KlimaExWoSt-Stadtklimatose – Entscheidungsunterstützung für die Stadtentwicklung.* <http://www.stadtklimatose.net>
- *Klimatose – Leitfaden zur Anpassung an den Klimawandel.* <http://www.klimatose.anpassung.net>
- *Klimawandelgerechte Stadtentwicklung – Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen.* http://www.bbsr.bund.de/nn_23494/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Forschungen/2011/Heft149.html
- *Kommunaler Handlungsleitfaden zur Klimaanpassung.* <http://www.moro-klamis.de/downloads/LeitfadenKlima.pdf>
- *KomPass-Tatenbank – Datenbank für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.* <http://www.tatenbank.anpassung.net>
- *Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung.* <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>
- *Stadtentwicklungsplan Klima Berlin – Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern.* <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/download.shtml>
- *Stadtklimatologie und Grün – Anregungen zur Anpassung an den Klimawandel.* <http://www.die-gruene-stadt.de/stadtklimatologie-und-gruen-2/>

Das Glossar zu Klimawandel und Raumentwicklung folgt im Wesentlichen der gleichnamigen Publikation der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Birkmann et al. 2011) und den in ihr zitierten Veröffentlichungen (jeweils in Klammern angeführt).

Anpassung bzw. Klimawandelanpassung

Der Begriff der Klimawandelanpassung umfasst Maßnahmen und Initiativen, die darauf abzielen die Vulnerabilität ökologischer, sozialer oder ökonomischer Systeme gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren. Dazu zählen einerseits strategische Maßnahmen (Modifikation von Prozessen, Handlungsweisen, Strukturen) sowie technische Maßnahmen (z. B. Bau von Regenrückhaltebecken für den Hochwasserschutz) zur Schadensabwehr bzw. -reduzierung, aber auch planerische Maßnahmen, welche u. a. die räumliche Steuerung der Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen übernehmen (Smit, Pilifosova 2001).

Anpassungsfähigkeit bzw. Anpassungskapazität

Die Anpassungsfähigkeit eines Systems bezeichnet das Vermögen desselben, sich den Folgen des Klimawandels anzupassen und dessen Auswirkungen abzufedern, dessen Chancen wahrzunehmen und mit etwaigen Risiken adäquat umzugehen. Vielfach werden die Begriffe Anpassungsfähigkeit und Anpassungskapazität synonym verwendet, letzterer integriert jedoch zusätzlich die potentiellen Ressourcen, die sich im Zuge des Klimawandels ergeben könnten (IPCC 2007c).

Anpassungsstrategien

Anpassungsstrategien sind langfristig angelegte planerische Vorhaben, die Maßnahmen zur Klimawandelanpassung beinhalten, um mit den zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels umzugehen. Das Ziel einer Anpassungsstrategie ist häufig die Abwendung bzw. Minimierung von Gefahren oder Schäden, wobei eine sukzessive Weiterentwicklung der Strategie von wesentlicher Bedeutung ist (BMVBS / BBSR 2009).

Climate Change Governance

Climate Change Governance beschreibt den Diskursprozess einer

Gemeinschaft von vom Klimawandel betroffenen Akteuren, um gemeinsam Anpassungsstrategien sowie -maßnahmen zu generieren. Climate Change Governance ist ein hierarchieloses Arrangement mehrerer unterschiedlich stark beteiligter Parteien (z. B. Behörden, Unternehmen, Forschungseinrichtungen etc.) zur Regulierung und Handlungskoordination von Klimawandelanpassungsstrategien (Geißel 2007, Seite 1996).

Climate proofing

Climate proofing ist die Beachtung von Belangen der Klimawandelanpassung in der Planung. Es soll sichergestellt werden, dass in Planungsprozessen die Resilienz gegenüber Auswirkungen des Klimawandels Berücksichtigung findet (BMVBS 2011:71).

Extremwetterereigniss

Extreme Wetterereignisse wie Starkniederschläge, Stürme und extreme Hitze zeichnen sich durch seltenes Auftreten aus. Bewertet werden diese Ereignisse anhand der Jährlichkeit ihres Auftretens. Im Zuge des Klimawandels kann sich diese Jährlichkeit ändern und somit ein Zusammenhang zu veränderten klimatischen Bedingungen hergestellt werden.

Instrumente der Raumplanung

Instrumente der Raumplanung sind notwendige Mittel zur Realisierung von Anpassungsstrategien. Dabei wird zwischen formellen und informellen Instrumenten unterschieden. Formelle Instrumente der Raumplanung sind in der Regel gesetzlich normiert und dienen der Planung und Rahmensetzung in der Raumentwicklung (z. B. Festlegungen zur überörtlichen Raumstruktur). Informelle Instrumente der Raumplanung zielen auf die Beteiligung und Kooperation der unterschiedlichen Akteure ab und dienen der Vorbereitung, Ergänzung und Realisierung der formellen Planung (z. B. Modellvorhaben der Raumordnung, Regionale Entwicklungskonzepte) (Hübler 2005).

Klima

Klima ist die statistische Beschreibung des mittleren Zustands der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder für ein bestimmtes Ge-

biet über einen ausreichend langen Zeitraum (Klimanormalperiode: 30 Jahre). Die Schwankung um den mittleren Zustand bezeichnet man als Klimavariabilität. Die Begriffe Wetter und Witterung geben hingegen die spürbare Ausprägung der atmosphärischen Zustände über einen kurzen bzw. mittleren Zeitraum (Minuten bis Wochen) wieder (IPCC 2007c).

Globales bzw. regionales Klimamodell

Ein globales Klimamodell beschreibt die wichtigsten klimarelevanten physikalischen Vorgänge in der Erdatmosphäre, den Ozeanen und auf der Erdoberfläche. Ein regionales Klimamodell betrachtet nur einen bestimmten Ausschnitt der Atmosphäre, die Randbedingungen werden aus globalen Klimamodellen übernommen. Anhand von Annahmen über veränderte atmosphärische Bedingungen (z. B. CO₂-Konzentration) können Klimamodelle die möglichen zukünftigen klimatischen Bedingungen mittels aufwendiger Computersimulation berechnen.

Klimaprojektion

Klimaprojektionen sind mögliche zukünftige klimatische Entwicklungen die mittels Klimamodellen berechnet werden. Sie stellen keine Prognose (wie z. B. Wetterprognose) dar, sondern geben auf Grundlage von Szenarien (Annahmen über zukünftige sozioökonomische und technologische Verhältnisse) klimatische Entwicklungen wieder.

Klimaschutz

Der Begriff Klimaschutz ist zweideutig konnotiert. Zum einen versteht man unter Klimaschutz sämtliche Bemühungen bzw. Strategien zum Schutz des globalen Klimas, also die Abschwächung des Klimawandels (anderer Begriff: Mitigation). Zum anderen bedeutet Klimaschutz den Schutz der lokalen bioklimatischen Funktionen einer räumlichen Einheit (z. B. planerische Sicherung von Kaltluftentstehungsgebieten und -bahnen) (IPCC 2007c).

Klimawandel

Der Klimawandel ist die langfristige Veränderung des Klimas, welche sowohl natürliche wie auch anthropogene Ursachen hat. Der anthropogen verursachte Klimawandel überlagert in den letzten Jahrzehnten deutlich die natürliche klimatische Variabilität.

Klimawirkung bzw. Klima(wirk)folgen

Klimasensitive Systeme stehen in Wirkungsbeziehung zur Veränderung bestimmter klimatischer Parameter. Ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen können in den betroffenen Systemen die Folge veränderter klimatischer Bedingungen sein. Es bestehen sowohl direkte Wirkbeziehungen wie Ernteeinbußen oder Herz-Kreislaufbelastungen als auch indirekte Wirkbeziehungen über Rückkopplungseffekte (z. B. Ausbreitung von Krankheitserregern).

No-Regret-Strategie

No-Regret-Strategien (dt.: „Strategien ohne Bedauern“) enthalten Maßnahmen und Planvorhaben, die auch ohne den Hintergrund des Klimawandels ökonomisch wie ökologisch positive Impulse hervorrufen. Somit bleibt der gesellschaftliche Nutzen erhalten, auch wenn der eigentliche Grund (Folgen der Auswirkungen des Klimawandels) zur Etablierung einer Anpassungsstrategie ausbleiben sollte. Deshalb, aber auch aufgrund der Unsicherheit bzgl. des Eintretens von Klimawandelfolgen, sind No-Regret-Strategien attraktiv. Beispiele für No-Regret-Strategien sind die Einführung von energieeffizienten Gebäudestandards im Bereich Heizung und Wärmedämmung oder die Erstellung von Evakuierungsplänen und Frühwarnsystemen gegenüber Hochwasserereignissen (Hallegatte 2009).

Resilienz

Der Begriff Resilienz stammt ursprünglich aus der Ökologie und bezeichnet die Fähigkeit eines Ökosystems externe Störungen zu absorbieren, zentrale Funktionen aufrecht zu erhalten und den Ausgangszustand möglichst wiederherzustellen. Somit erholt sich ein Ökosystem von den Folgen einer Störung umso schneller, je resilienter es ist. Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird der Begriff Resilienz häufig mit Robustheit bzw. Widerstandskraft konnotiert. Darüber hinaus umfasst Resilienz aber auch die Lernfähigkeit eines Ökosystems sich an sich verändernde Umweltbedingungen anzupassen (Folke 2006, Holling 1973).

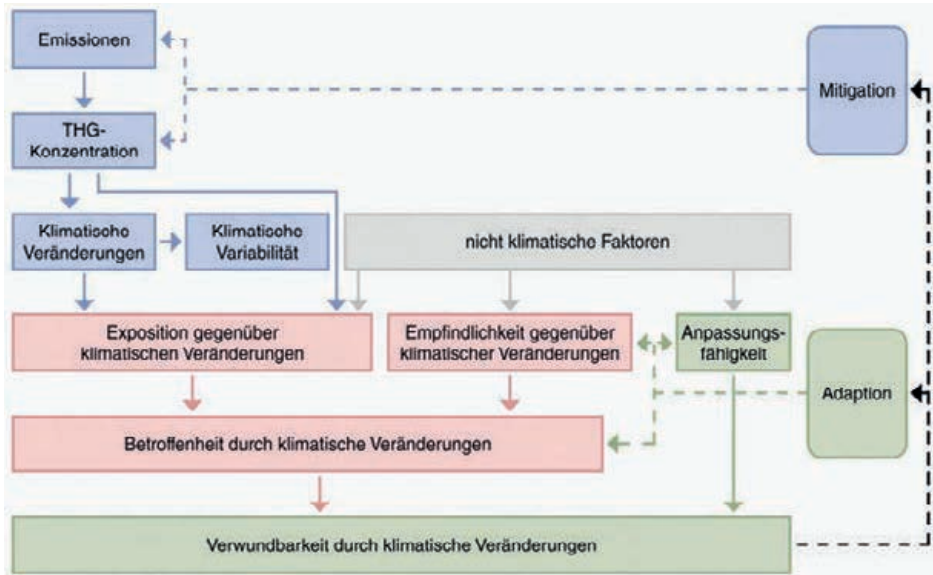


Abbildung G1: Konzept für die Bestimmung der Verwundbarkeit (Vulnerability) und der Betroffenheit durch die Wirkfolgen des Klimawandels (Quelle: BMVBS 2011)

Szenarien

Ein Szenario ist eine kohärente, konsistente und plausible Beschreibung möglicher zukünftiger Entwicklungen und Verhältnisse, die auf bestimmten Annahmen basieren. Szenarien beschreiben meist zunächst die Entwicklung innerhalb eines bestimmten Bereichs (z. B. Technologie), können jedoch sukzessive zu umfassenderen Szenarien zusammengefasst werden. Szenarien bezüglich des zukünftigen Klimawandels basieren zumeist auf Annahmen aus den Bereichen Demographie, Sozio-Ökonomie, Politik und Technologie (z. B. Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung, Energieverbrauch bzw. Art der Energiegewinnung, Landnutzung) (Alcamo 2008, Greeuw et al. 2000).

Unsicherheit

Unsicherheit bezeichnet das Ausmaß, in dem ein Wert, Zustand oder ein Prozess ungewiss ist. Unsicherheit ergibt sich aus bezifferbaren Fehlern oder mehrdeutig formulierten Konzepten, bis hin zu unsicheren Zukunftsprojektionen. Das Maß der Unsicherheit kann quantitativ angegeben werden (z. B. Standardabweichung), aber auch qualitativ ausgedrückt werden (z. B. Urteil eines Expertenteams). Bezüglich des Klimawandels besteht eine vergleichsweise große Unsicherheit, weshalb das genaue Ausmaß des Klimawandels sowie dessen Auswirkungen nicht angegeben werden kann und nur Trendaussagen getroffen werden können (IPCC 2007b).

Vulnerabilität

Die Vulnerabilität (oder auch Verwundbarkeit) eines Systems bezeichnet die Anfälligkeit bzw. Ausgesetzttheit desselben gegenüber Gefahren, wie z. B. die Auswirkungen des Klimawandels. Das Maß der Vulnerabilität wird durch physische, soziale, ökonomische und umweltbezogene Faktoren bestimmt. Ein System ist vulnerabel, wenn es für bestimmte negative Auswirkungen des Klimawandels anfällig und unfähig ist, diese zu bewältigen. Seine Vulnerabilität ist umso geringer, je größer seine Anpassungs- bzw. Bewältigungsfähigkeit ist (Smith et al. 2001). Die Vulnerabilität setzt sich aus der Betroffenheit durch klimatische Veränderungen und der Anpassungskapazität bzw. -fähigkeit an eben jene zusammen (Abbildung G1). Da die Bestimmung der Anpassungskapazität mit erheblichen methodischen Problemen verbunden ist, wird häufig auf die (einfacher zu bestimmende) Betroffenheit fokussiert (BMVBS 2011).

ANHANG

Tabelle A 1: Übersichtskatalog der Handlungsempfehlungen

Anmerkung: Der vollständige Katalog findet sich auf der beiliegenden CD. Wirksignaturen der Klimawirkfolgen:

Wb – Wärmebelastung, Ho – Hochwasser, Tr – Trockenheit, Er – Erosion, Ex – Extremereignisse

Nähere Erläuterungen zum Thema Wirksignatur finden sich in Kapitel 8.1.

Handlungsempfehlung	Beschreibung
ENE-01	Regenerative Energieerzeugung: Schnellumtriebswälder – auf landwirtschaftlichen Flächen – können der Biomasseproduktion dienen und die regionale Unabhängigkeit der Energieproduktion steigern. Zudem stellen sie einen lokalen Erosionsschutz dar.
ENE-02	Siedlungsstruktur: Steigerung der Energieeffizienz durch kompakte Siedlungsstrukturen (Reduzierung der Übertragungsverluste, Verringerung von Energieverbrauch für Mobilität).
ENE-03	Maßnahmen an Gebäuden: In Zukunft ist die Gewinnung regenerativer Energien am Gebäude zu forcieren.
ENE-04	Maßnahmen an Gebäuden: Die energetische Gebäudesanierung ist zu verstärken, um Treibhausgasemissionen und damit langfristig die Anpassungsintensität zu minimieren.
ENE-05	Maßnahmen an Kraftwerken: Vor allem in den trockenen Sommermonaten wird der Einsatz wassersparender bzw. alternativer Technologien in Kraftwerken erforderlich.
ENE-06	Netzinfrastruktur anpassen: Feinmaschige Transportnetze können die Störanfälligkeit (aufgrund steigenden Strombedarfs) minimieren.
ENE-07	Maßnahmen an Kraftwerken: Zum thermischen Gewässerschutz ist die Aufstellung von Wärmelastplänen von Wasser erfordernden Kraftwerken und Industriebetrieben notwendig.
ENE-08	Maßnahmen an Kraftwerken: Vor allem für die trockenen Sommermonate ist ein Speichermanagement bei Wasserkraftwerken erforderlich.
ENE-09	Information und Kommunikation: Durch Leitfäden und Schulung zum Energiemanagement kann die Bevölkerung über Einspar- und Anpassungsmöglichkeiten informiert werden.
ENE-10	Regenerative Energieerzeugung: Um die regionale Unabhängigkeit der Energieproduktion zu stärken, sollte die nachhaltige Nutzung landwirtschaftlich produzierter Biomasse zur Energieerzeugung gesteigert werden.
FOR-01	Brandschutz: Aufgrund des Temperaturanstiegs – und damit einhergehender Trockenperioden – wird die Waldbrandgefahr zunehmen, der durch entsprechendes Monitoring und einer erhöhten Einsatzbereitschaft zu begegnen ist.
FOR-02	Waldumbau: Windwurfgefährdete Gebiete bedürfen zum einen der Überwachung und ggf. des Einsatzes nach einem Extremereignis – mit denen häufiger gerechnet werden muss – und zum anderen kann die Baumartenwahl (z. B. tiefwurzelnd) das Risiko mindern.
FOR-03	Information und Kommunikation: Qualifizierung der Beschäftigten, um das Bewusstsein für eine nachhaltige und naturschonende Forstwirtschaft zu fördern.
FOR-04	Waldumbau: Die Waldbestände sind auf resiliente Baumartenzusammensetzungen (verstärkt Mischwald) und naturnahe Behandlungsmethoden hin zu verändern.
FOR-05	Forstplanung: Durch die Ausweisung von Gefahrenzonen können frühzeitig forstwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen erfolgen.
FOR-06	Forstplanung: Wald stellt eine Sicherung für Siedlungsflächen und Infrastrukturen in gefährdeten Gebieten (Steinschlag, Hangrutschung) sowie einen Erosionsschutz dar, daher ist an erforderlichen/ geeigneten Stellen eine (Wieder-) Bewaldung zu prüfen.
HUM-01	Thermische Entlastung: Erhalt von zusammenhängenden Grün- und Freiflächen als Luftaustauschbahnen mit stadtklimaverbessernder Wirkung.
HUM-02	Thermische Entlastung/ Frischluftzufuhr: Kaltluft- sowie Frischluftentstehungsgebiete (Wiesen, Felder, Wälder, Gartenland) sind insbesondere in stark verdichteten Räumen zu erhalten und in ihrer Entwicklung zu fördern.
HUM-03	Thermische Entlastung: Grüne Strukturen haben einen abkühlenden Effekt auf die urbane Umgebung und sollten vielfältig, auch kleinteilig (insbesondere in stark verdichteten Bereichen) im Stadtgefüge erhalten und vorgesehen werden.
HUM-04	Lufthygiene: Erhalt und Entwicklung zusammenhängender Grün-, Garten- und Waldflächen. Sie bewirken eine Verbesserung der klimatisch-lufthygienischen Belastungssituation durch Filterung und Festlegen von Schadstoffen und Stäuben sowie durch Abkühlung der Lufttemperaturen. Gleichzeitig bieten sie als Naherholungsraum eine Rückzugsmöglichkeit bei Hitzestress.
HUM-05	Thermische Entlastung: Erhalt und Entwicklung von offenen Wasserflächen (blaue Strukturen). Sie haben eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperatur, da Wasser sich im Vergleich zur Luft langsamer erwärmt und seine Verdunstung zur Abkühlung der aufgeheizten Innenstadtluft beiträgt.
HUM-06	Lufthygiene: Insbesondere in klimatisch-lufthygienisch stark belasteten Bereichen ist auf eine Verringerung des Emissionsaufkommens, (v. a. der Verkehrsemissionen) hinzuwirken.

	Zeithorizont	Kostenaufwand	Wirksignatur				
			Wb	Ho	Tr	Er	Ex
	mittelfristig	moderat	1	1	2	2	1
	langfristig	moderat	2	1	1	1	1
	kurzfristig	hoch	1	1	1	1	1
	kurzfristig	hoch	1	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	2	1	1
	mittelfristig	hoch	1	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	2	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	2	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	2	1	2
	mittelfristig	moderat	1	1	1	2	2
	kurzfristig	gering	1	1	1	1	1
	langfristig	moderat	2	1	2	1	2
	kurzfristig	gering	1	1	1	2	2
	langfristig	moderat	2	2	2	3	2
	mittelfristig	moderat	3	1	2	1	1
	langfristig	moderat	3	1	1	1	1
	langfristig	moderat	3	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	3	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	3	1	3	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1

Handlungsempfehlung	Beschreibung	
HUM-07	Thermische Entlastung: In städtischen Konzepten und Planungen sollte immer wieder darauf verwiesen werden, dass eine Zunahme von Extremereignissen sowie Hitze- und Kältetagen zu einer Zunahme der Einsatzhäufigkeit der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) führen wird, dem durch angepasste Einsatzplanung begegnet werden muss.	
HUM-08	Thermische Entlastung: Die Bevölkerung, vor allem gesundheitlich exponierte Gruppen (Alte, Kinder, Kranke), ist über ein hitzeangepasstes Verhalten („richtige“ Bekleidung, ausreichende Flüssigkeitszufuhr, Aufenthalt im Freien) im Vorfeld längerer Hitzeperioden durch Medien und besondere Funktionsträger (Gesundheitsamt, Schulleitung, Betriebsleitung etc.) aufzuklären.	
HUM-09	Gesundheitsrisiken allgemein: Auch das medizinische Personal muss über die zunehmenden Gefahren für die menschliche Gesundheit und geeignete Gegenmaßnahmen bzw. Verhaltensregeln durch fortlaufende Weiterbildung informiert werden.	
HUM-10	Thermische Entlastung: In städtischen Konzepten und Planungen sollte immer wieder darauf verwiesen werden, dass Alten- und Pflegeheime sowie Krankenhäuser sich mittels spezifischer Notfallpläne auf den in den Zeiten der Extremhitzetage auftretenden erhöhten Pflegebedarf der Patienten einstellen müssen.	
HUM-11	Gesundheitsrisiken allgemein: Das gesamte Gesundheitssystem ist hinsichtlich seiner Eignung, der steigenden Erfordernisse gerecht zu werden, zu untersuchen und ggf. zu optimieren.	
HUM-12	Gesundheitsrisiken allgemein: Umwelt- und Gesundheitsdaten müssen überwacht werden, um eine Gefährdungsvorhersage zu ermöglichen. Insbesondere erforderlich ist der Informationsaustausch zwischen den Behörden für Umweltschutz und Gesundheit.	
HUM-13	Gesundheitsrisiken allgemein: Die Bevölkerung muss an Extremhitzetagen bzw. zu ggf. veränderten Pollenflugzeiten gewarnt werden.	
HUM-14	Gesundheitsrisiken durch Vektoren und Pollen: Die Veränderung (vektorbasierter) Infektionskrankheiten und anderer klimabedingter Gesundheitsgefährdungen (z. B. Allergene) muss überwacht und flächenspezifisch dargestellt werden, um frühzeitig Maßnahmen einleiten zu können. Insbesondere erforderlich ist der Informationsaustausch zwischen den Behörden für Umweltschutz und Gesundheit.	
HUM-15	Thermische Entlastung: Aufgrund der Zunahme der Extremhitzetage ist eine technische Optimierung und architektonische Anpassung von Gebäuden (insbesondere öffentlicher Gebäude wie Verwaltungsgebäude, Schulen, Kindergärten...) zu fordern.	
HUM-16	Thermische Entlastung: Eine Erhöhung der Albedo (Rückstrahlung) von Gebäuden und befestigten Oberflächen fördert die nächtliche Abkühlung der Luft und spart Energie für die Kühlung ein.	
HUM-17	Thermische Entlastung: Eine Entsiegelung innerstädtischer Flächen ermöglicht die Verdunstung von Wasser aus Boden und Vegetation und wirkt somit der Ausbildung von Wärmeinseln entgegen.	
HUM-18	Trinkwasserversorgung: Die Grundwasservorkommen sind über Wasserschutzgebiete dauerhaft zu schützen, um die Wasserversorgungssicherheit zu gewährleisten.	
HUM-19	Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Die Bevölkerung muss im Vorfeld zu erwartender Extremereignisse durch Medien und besondere Funktionsträger (Feuerwehr, Katastrophenschutz etc.) über angepasstes Verhalten aufgeklärt werden.	
HUM-20	Thermische Entlastung: Die urbane Durchgrünung (z. B. durch Freiflächen, Straßenbegrünung, Dach-, Hof- und Fassadenbegrünung) sollte erhöht werden, um die Kaltluftbildung durch Verdunstung zu steigern und der Hitzezunahme entgegenzuwirken.	
HUM-21	Thermische Entlastung/ Frischluftzufuhr: Bestehende Kalt- und Frischluftbahnen sind zur Abmilderung der nächtlichen Hitzebelastung zu erhalten und ggf. auszuweiten. Die Beeinträchtigung durch Emissionsquellen und bauliche Querungen sollte vermieden werden (Brücken statt Dämme).	
HUM-22	Thermische Entlastung: Vor allem in stark verdichteten Bereichen – die ggf. nicht oder nur wenig entsiegelt werden können – stellen Dach-, Hof- und Fassadenbegrünungen eine geeignete Maßnahme zur lokalen Abkühlung dar.	
HUM-23	Bei neuen Bebauungsvorhaben ist auf eine klimaangepasste Baustruktur (Baukörper sowie Siedlungsstruktur) zu achten.	
HUM-24	Thermische Entlastung: Markisen und Sonnensegel sind eine effektive und kostengünstige Möglichkeit zur Beschattung hitzebelasteter Gebäudefassaden oder Plätze, insbesondere wenn eine Beschattung durch Bäume schwer realisierbar ist.	
HUM-25	Abfallentsorgung: Rechtzeitige bzw. bedarfsgerechte Abfallentsorgung.	
HUM-26	Bepflanzung: Anpflanzen von widerstandsfähigen (Straßen-)Bäumen zur lokalen Verbesserung der Luftqualität.	
HUM-27	Bepflanzung: Wechsel zu Baumarten, die eine geringere Konzentration von flüchtigen organischen Stoffen als Ozonvorläufer produzieren.	

	Zeithorizont	Kostenaufwand	Wirksignatur				
			Wb	Ho	Tr	Er	Ex
	langfristig	moderat	2	1	1	1	2
	kurzfristig	gering	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	2	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	3	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	1	1	1
	mittelfristig	hoch	3	1	1	1	1
	langfristig	moderat	3	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	3	2	2	1	2
	mittelfristig	moderat	1	1	3	1	1
	kurzfristig	gering	1	2	1	1	2
	kurzfristig	moderat	3	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	3	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	3	1	2	1	1
	kurzfristig	gering	2	1	2	1	1
	kurzfristig	gering	3	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	2	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	3	1	2	1	1
	mittelfristig	gering	3	1	1	1	1

Handlungsempfehlung	Beschreibung	
HUM-28	Thermische Entlastung: Um das Eindringen von Kalt- bzw. Frischluft in den Siedlungskörper zu verbessern, sollte, vor allem im Bereich von Kaltluftentstehungsgebieten, quer zur Strömungsrichtung orientierte Bebauung vermieden werden. Wo dies nicht möglich ist, sollte die Bebauung mit großen Abständen und niedrigen Höhen erfolgen.	
HWA-01	Hochwasserschutz: Hochwasserschutz: In Überschwemmungsgebieten müssen neue kommunale und private Gebäude hochwasserangepasst errichtet werden.	
HWA-02	Hochwasserschutz: Bestehende kommunale und private Anlagen sind im Hinblick auf anstehende Hochwasserereignisse zu überprüfen und ggf. zu schützen, wie z. B. Sicherung von Kellerschächten, die Verlagerung empfindlicher Einrichtungen (Stromverteiler) aus dem Keller.	
HWA-03	Hochwasserschutz: Der Wasserrückhalt in der Fläche durch Grundstücksversickerung (entsprechend der geologischen Ausgangsbedingungen), Bodenentsiegelung, Dachbegrünung mindert das Ausmaß der Folgen von Hochwasser und Starkregen.	
HWA-04	Hochwasserschutz: Retentionsflächen sind als Schutzmaßnahmen zur Minderung von Hochwasserereignissen einzuplanen und ggf. auszuweiten.	
HWA-05	Hochwasserschutz: Bestehende Überschwemmungsgebiete sind in entsprechende Pläne nachrichtlich zu übernehmen. Überschwemmungsgefährdete und deichgeschützte Gebiete sind zu kennzeichnen.	
HWA-06	Hochwasserschutz: In Überschwemmungsgebieten und ggf. überschwemmungsgefährdeten Gebieten sind besonders gefährdete und gefährliche Nutzungen (kritische Infrastruktur) auszuschließen bzw. bestehende bautechnisch zu ertüchtigen.	
HWA-07	Hochwasserschutz: Bestehende Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete sind zu überprüfen und ggf. verändert festzulegen.	
HWA-08	Hochwasserschutz: Der Zunahme der Einsatzhäufigkeit von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) durch Extremereignisse muss durch Personalplanung und Einsatzmanagement begegnet werden.	
HWA-09	Hochwasserschutz: Bestehende und geplante Anlagen des technischen Hochwasserschutzes müssen auf eine ausreichende Dimensionierung hin überprüft und ggf. angepasst werden.	
HWA-10	Hochwasserschutz: Ein naturnaher Ausbau von Fließgewässern (z. B. Rückbau von Verrohrungen, Aufweitung des Bachbetts, Deichrückverlegungen, Anbindung von Altarmen) ist ein wirksamer Beitrag zum Hochwasserschutz.	
HWA-11	Hochwasserschutz: Zum Schutz gegen Hochwasserereignisse sollte in der Landwirtschaft möglichst wenig Bodenverdichtung erfolgen.	
HWA-12	Hochwasserschutz: Zum Schutz gegen Hochwasserereignisse sollten in der Landwirtschaft Flächen möglichst hangparallel bewirtschaftet werden.	
HWA-13	Hochwasserschutz: Einer Gefährdung durch umstürzende Straßenbäume bei Hochwasser ist durch entsprechendes Monitoring zu begegnen.	
HWA-14	Hochwasserschutz: Beim Rückbau von baulichen Anlagen sollten prioritär Anlagen zurückgebaut werden, die hochwassergefährdet sind.	
HWA-15	Hochwasserschutz: Die Installation von kleineren Frühwarnsystemen (Pegel) in Vorflutern 2. Ordnung ist in Betracht zu ziehen.	
HWA-16	Hochwasserschutz: Zur Platzierung geeigneter Hochwasserabwehrmaßnahmen im Bereich von Vorflutern 2. Ordnung sind Hochwassermodellierungen (Fließwege) für gefährdete Stadtbereiche erforderlich.	
LAN-01	Erosionsschutz: Durch die Anlage von Hecken kann die Erosion des Oberbodens durch Wind und Regen abgemildert werden.	
LAN-02	Agrarplanung: Die Ausweisung von Risikostandorten und Gefahrenzonen soll der Landwirtschaft eine spezifische Anbauanpassung ermöglichen.	
LAN-03	Erosionsschutz: Durch bodenschonende Kulturtechniken (z. B. Direktsaat, pfluglose Bodenbearbeitung) kann die Erosion des Oberbodens vor allem im Winter (Winterdeckung) abgemildert werden.	
LAN-04	Erosionsschutz: Durch den Zwischenfruchtanbau kann die Erosion des Oberbodens vor allem im Winter abgemildert werden.	
LAN-05	Anbauverfahren: Um die Gefahr des Ernteausfalls durch Extremereignisse zu minimieren, sollte die Vielfalt der angebauten Nutzpflanzen erhöht werden.	
LAN-06	Anbauverfahren: Die ökologische Landwirtschaft entspricht den Zielen der Vermeidung und kann durch die mit ihr verbundene Anforderung an Artenvielfalt ein Element der Anpassung sein.	
LAN-07	Anbauverfahren: Einsatz von Nutzpflanzen, die wenig Wasser benötigen, und nach Möglichkeit resistent gegen Schädlingsbefall, Hitze- und Trockenstress sind.	
LAN-08	Information und Kommunikation: Qualifizierung der Beschäftigten, um über Möglichkeiten nachhaltiger Landwirtschaft zu informieren. Unterstützung der Verhaltensänderung.	

	Zeithorizont	Kostenaufwand	Wirksignatur				
			Wb	Ho	Tr	Er	Ex
	mittelfristig	moderat	3	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	3	1	1	2
	kurzfristig	gering	1	3	1	1	2
	kurzfristig	moderat	1	3	1	1	3
	langfristig	hoch	1	3	1	1	2
	kurzfristig	gering	1	3	1	1	2
	mittelfristig	moderat	1	3	1	1	2
	mittelfristig	moderat	1	3	1	1	2
	kurzfristig	moderat	1	2	1	1	2
	kurzfristig	hoch	1	2	1	1	2
	mittelfristig	hoch	1	3	1	1	2
	mittelfristig	moderat	1	3	1	2	2
	kurzfristig	gering	1	2	1	2	2
	mittelfristig	gering	1	2	1	1	2
	kurzfristig	moderat	1	2	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	3	1	1	2
	mittelfristig	moderat	1	3	1	2	3
	mittelfristig	moderat	1	1	1	3	2
	kurzfristig	gering	1	2	2	2	1
	mittelfristig	hoch	1	1	1	3	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	3	1
	mittelfristig	moderat	2	1	2	1	1
	mittelfristig	hoch	1	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	3	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	1	2	1

Handlungsempfehlung	Beschreibung	
LAN-09	Veterinärmedizin: Durch die Temperaturzunahme muss mit Auswirkungen auf die Tiergesundheit gerechnet werden, die durch Maßnahmen der Gesundheitsvorsorge gewährleistet werden muss.	
LAN-10	Gewässerschutz: Durch den Ausbau von Uferstrandstreifen kann der Eintrag von Oberbodenpartikeln und Schadstoffen durch Wind und Regen abgemildert werden.	
LAN-11	Grundwasserregeneration: Die Grundwasservorkommen werden sich aufgrund zunehmender Sommertrockenheit weiter verknappen. Um die Feldberegnung zukünftig gewährleisten zu können, sollten Substitutionspotentiale genutzt und Maßnahmen zur verstärkten Grundwassererneuerung eingeleitet werden.	
LAN-12	Agrarplanung: Die Effizienz der Wassernutzung sollte durch eine Bewässerungsplanung gesteigert werden.	
MAN-01	Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Um die Reaktionszeit zu verkürzen und potentielle Gefährdungsorte identifizieren zu können, muss ein Risikomanagement betrieben werden (u. a. Rettungskräfte verstärkt in die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung der Anlagenbetreiber einbeziehen).	
MAN-02	Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: Aufgrund der Zunahme der Extremereignisse und deren Auswirkungen auf bauliche Infrastruktureinrichtungen wird der Bedarf an Einsatzkräften (Rettungsdienste, Katastrophenschutz) ansteigen. Dem ist durch entsprechende Personalplanung zu begegnen.	
MAN-03	Management Versorgungsinfrastruktur: Für den Schadenseintritt durch ein Extremereignis müssen Wasser- und Stromversorgung sichergestellt sein.	
MAN-04	Management Entsorgungsinfrastruktur: Um Ablagerungen in den Abwassernetzen in trockenen Sommermonaten zu minimieren, bedarf es einer erweiterten Wartung.	
MAN-05	Ertüchtigung baulicher Infrastruktur: Bauliche Anlagen müssen gegenüber der wahrscheinlichen Zunahme von Extremereignissen (Sturm, Hochwasser, Schnee...) an die gestiegenen Herausforderungen angepasst ausgeführt werden und technisch entsprechend vorbereitet werden.	
MAN-06	Ertüchtigung Versorgungsinfrastruktur: Leitungsnetze der Stromversorgung müssen gegenüber Extremereignissen robust ausgeführt werden, Erdverkabelung ist im Einzelfall zu prüfen.	
MAN-07	Ertüchtigung Entsorgungsinfrastruktur: Bei Neubau von Entsorgungsanlagen der Stadtentwässerung (Kanalnetze, Speicherbecken, Rückhaltebecken, Abführungssysteme) müssen diese auf ihre Kapazität hin überprüft und ggf. neu dimensioniert werden.	
MAN-08	Ertüchtigung Verkehrsinfrastruktur: Um das Ausmaß der Folgen von Starkregenereignissen zu minimieren, sollte der Straßenraum über eine V-förmige Gestaltung (bei Mischverkehrsflächen) verfügen.	
MAN-09	Ertüchtigung Entsorgungsinfrastruktur: Um das Ausmaß der Folgen von Starkregenereignissen zu minimieren, sollten Notentwässerungswege definiert werden.	
MAN-10	Maßnahmen an Gebäuden: In neu aufzustellenden Bebauungsplänen sollen Dachbegrünungen bei Gebäuden festgesetzt werden.	
MAN-11	Grünflächenplanung: Steigender Nutzungsdruck auf städtische Freiräume und Grünflächen durch die Bevölkerung (z. B. bei Hitzeperioden) bedingen eine Flächenerweiterung und Verbesserung der Erreichbarkeit bestehender Erholungsflächen.	
MAN-12	Grünflächenplanung: Flächen in Ausgleichsflächenpools und Maßnahmen von Ökokonten sollten stärker genutzt werden, um große zusammenhängende Entlastungsstrukturen (Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftbahnen) zu schaffen.	
MAN-13	Brandschutz: Die Gefahr der Trockenheit in den Sommermonaten erhöht bei städtischen Grünflächen das Risiko von Bränden und muss durch entsprechende Einsatzplanung berücksichtigt werden.	
MAN-14	Brandschutz: In den trockenen Sommermonaten ist zur Minimierung des Brandrisikos ein Bewässerungsmanagement für gefährdete städtische Grünflächen erforderlich.	
MAN-17	Abfallentsorgung: Überprüfung und Anpassung bisheriger Kompostierungsstandards.	
MAN-18	Sommertourismus: Auf eine intensivere Überwachung von Badeseen ist hinzuwirken, um gesundheitsrelevante Informationen über deren Wasserqualität zu sammeln.	
MAN-19	Trockenheit: Die Zunahme von trockenen Sommern erfordert ein häufigeres Bewässern öffentlicher Grünflächen.	
MAN-20	Trockenheit: Die Zunahme von trockenen Sommern erfordert eine Umstellung auf wassersparende Verfahren. (z. B. verstärkte Nutzung von Regenwasser durch Zuleitung zu Straßenbäumen)	
MAN-21	Trockenheit: Die Zunahme von trockenen Sommern erfordert eine Anpassung der Bepflanzung.	
MAN-22	Umweltbildung: Für die Etablierung eines Bewusstseins für Klimaanpassung und Klimaschutz ist eine Ausweitung entsprechender Bildungsprogramme an Schulen, Universitäten, Jugendfreizeit etc. anzuraten.	

	Zeithorizont	Kostenaufwand	Wirksignatur				
			Wb	Ho	Tr	Er	Ex
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	2	1	1	1
	langfristig	hoch	1	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	3	1	1
	mittelfristig	moderat	1	2	1	1	3
	mittelfristig	hoch	1	1	1	1	2
	langfristig	moderat	1	1	1	1	2
	mittelfristig	moderat	1	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	1	2	1	1	3
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	3
	mittelfristig	hoch	1	1	1	1	3
	langfristig	moderat	1	1	1	1	3
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	3
	kurzfristig	gering	3	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	3	1	1	1	1
	mittelfristig	gering	3	1	1	1	1
	mittelfristig	gering	1	1	3	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	3	1	1
	kurzfristig	gering	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	3	1	1
	kurzfristig	moderat	1	1	3	1	1
	mittelfristig	gering	1	1	3	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	1	1	1

Handlungsempfehlung	Beschreibung	
MAN-23	Siedlungsstruktur: Um motorisierten Verkehr generell reduzieren zu können, muss das Leitbild der Stadt der kurzen Wege durch Nachverdichtung umgesetzt werden.	
MAN-24	Veränderung des Modal Split zugunsten der Verkehrsmittel des Umweltverbundes: Förderung des Rad- und Fußgängerverkehrs (auf kurzen Strecken) bzw. des ÖPNV (auf langen Strecken) als Alternative zum MIV. Andere alternative Konzepte (Carsharing, E-Mobilität) sind ebenfalls zu prüfen.	
MAN-25	Fahrzeugtechnik: Aufgrund ansteigender Temperaturen wird der Einsatz moderner, stärker klimatisierter Fahrzeuge erforderlich.	
MAN-26	Fahrzeugtechnik: Umstellung des kommunalen Fuhrparks sowie des kommunalen ÖPNV auf umweltfreundlich angetriebene Fahrzeuge (regenerative Energieträger oder „Down-sizing“ der städtischen PKW auf 120 g CO ₂ /km).	
MAN-27	Information und Kommunikation: Der Bevölkerung können Kursangebote zum Mobilitätsmanagement gemacht werden.	
MAN-28	Verkehrsinfrastruktur: Fahrbahnbeläge sind in Zukunft im Hinblick auf stärkere Temperaturschwankungen auszuliegen (Schadensreparaturen sind ggf. häufiger durchzuführen).	
MAN-29	Verkehrstechnik: Besonders gefährdete Gebiete können durch den Einsatz von Verkehrsleitsystemen umfahren werden.	
MAN-30	Verkehrsinfrastruktur: Verkehrswege (vor allem kommunale Straßen und Schienenwege) sind gegen Schäden aufgrund von Extremereignissen zu schützen (z. B. Hangsicherung von Böschungen) und dauerhaft zu überwachen (z. B. Vermeidung von Unterspülung).	
MAN-31	Ertüchtigung Verkehrsinfrastruktur: Um das Ausmaß der Folgen von Starkregenereignissen zu minimieren, sollten bereits bei der Straßenplanung Abflussszenarien simuliert werden und die Kanalisationseinläufe entsprechend gesetzt werden.	
MAN-32	Ertüchtigung Entsorgungsinfrastruktur: Um das Ausmaß der Folgen von Starkregenereignissen zu mindern, sollten die Möglichkeiten der flächenhaften Regenwasserversickerung sowie Regenwassernutzung überprüft und forciert werden.	
NAT-01	Biodiversität: Zum Erhalt der Biodiversität im Außenbereich sollte dieser „weitgehend“ von (baulichen) Einwirkungen verschont bleiben und primär der Innenbereich zu Siedlungszwecken genutzt werden.	
NAT-02	Biodiversität: Um Informationen über die – durch den Klimawandel bedingte – Veränderung der Artenzusammensetzung im Ökosystem Wald zu erhalten, muss ein Artenmonitoring durchgeführt werden.	
NAT-03	Biodiversität: Die Wandermöglichkeiten der heimischen Tierarten sollten durch den Aufbau bzw. Ausbau eines Biotopverbundes und der biologischen Durchlässigkeit von Gewässern ermöglicht/ verbessert werden.	
NAT-04	Biodiversität: Die Resilienz wertvoller Lebensräume und gefährdeter Arten muss durch intensivere Schutzmaßnahmen (z. B. Gebietsschutz, Pflegemaßnahmen, Vertragsnaturschutz) gestärkt werden.	
NAT-05	Biodiversität: Der Klimawandel wird zu neuen Herausforderungen an bestehende Biotopschutzkonzepte führen, die entsprechend angepasst werden müssen.	
NAT-06	Biodiversität: Die Ausbreitung gebietsfremder „Problemarten“ (z. B. Ambrosia) muss durch Gegenmaßnahmen, wie z. B. intensives Monitoring und Aufklärungsarbeit bei Landnutzern, Jägern, Gartenbesitzern gebremst werden.	
NAT-07	Biodiversität: Durch Feldstreifen und Dauerbrachen sollte der Biotopverbund verbessert werden.	
NAT-08	Wasserqualität: Damit fließende und stehende Gewässer ihre ökologischen Funktionen in vollem Umfang erfüllen können, sind entsprechende Erhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen (Reduzierung der Nährstoffbelastungen, Röhrichschutzprogramm, Schutz und Renaturierung von Uferbereichen) zu treffen.	
NAT-09	Klimaschutz: Erhalt und ggf. Erweiterung von Kohlenstoffsinken in Ökosystemen, wie z. B. Wiedervernässung von Feuchtgebieten oder der Erhalt von Grasland mit langer Biotoptradition.	
TOU-01	Tourismus allgemein: Verschlechterungen der Luftqualität (Ozonbelastung) können Auswirkungen auf den Tourismus haben, denen ggf. durch angepasste Tourismuskonzepte begegnet werden muss.	
TOU-02	Baukulturelles Erbe: Durch Extremereignisse gefährdete bauliche Anlagen von kulturhistorischem Wert müssen identifiziert und im Ereignisfall gesichert werden.	
TOU-03	Sommertourismus: Aufstellung eines Tourismus-Masterplanes, u. a. zur Verkehrsvermeidung und Entwicklung von Erholungsmöglichkeiten (insbesondere für die Extremhitzetage).	
TOU-04	Sommertourismus: Die Auswirkungen von sommerlicher Hitzebelastung bei Massenveranstaltungen muss in Notfallplänen und Besucherinformationen (Hitzestress) Berücksichtigung finden.	
TOU-05	Allgemein: Entwicklung/ Ausbau des sanften Tourismus als Alternative zu energieintensiven Formen des Tourismus.	

	Zeithorizont	Kostenaufwand	Wirksignatur				
			Wb	Ho	Tr	Er	Ex
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	1	1	1
	langfristig	hoch	2	1	1	1	1
	mittelfristig	hoch	1	2	1	1	1
	mittelfristig	gering	1	1	1	1	2
	mittelfristig	gering	1	2	1	1	3
	mittelfristig	moderat	1	2	2	1	3
	langfristig	moderat	1	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	1	1	1
	langfristig	moderat	1	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	1
	kurzfristig	gering	1	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	2	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	gering	1	1	2	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	1	1	1	1	2
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	mittelfristig	moderat	2	1	1	1	1
	langfristig	moderat	1	1	1	1	1

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1.1: Modellkommunen des Forschungsschwerpunktes „Urbane Strategien zum Klimawandel – Kommunale Strategien und Potenziale“ (Quelle: BBSR 2010)	6
Abbildung 1.2: Workshop auf der ExWoSt-Konferenz „Hitze in der Stadt“ am 15. September 2011 in Essen (Quelle: S. Lorenz/BPW baumgart+partner/BBSR 2011)	7
Teil des Kooperationsprogramms mit dem Deutschen Wetterdienst: Nächtliche Messfahrten (Quelle: Maercker 2011)	8
Abbildung 2.2: Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm (Quelle: TMLNU 2009)	11
Abbildung 2.1: Re-Zertifizierung der Stadt Jena mit dem European Energy Award in Gold im Januar 2011 (Quelle: Stadt Jena)	11
Abbildung 2.3: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis 2060 (Quelle: SBA 2009)	12
Abbildung 2.4: Räumlicher Trend der Bevölkerungsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis 2050 (Quelle: BBR 2005)	12
Abbildung 2.5: Entwicklung der Gesamtbevölkerung und des Anteils der ab-65-Jährigen in Thüringen bis 2060 (Quelle: TLS 2008)	13
Abbildung 2.6: Mittlerer Schaden pro Wiederkehrintervall für Hochwasserereignisse (Mittelwerte aus mehreren hydrologischen Modellierungen, Werte in Millionen Euro) (Quelle: GDV 2011b)	13
Abbildung 3.3: Modifikation des Windfeldes durch Bebauung (Quelle: Gandemer 1977, verändert in MUNLV NRW 2010)	17
Abbildung 3.1: Struktur der städtischen Wärmeinsel (Quelle: verändert nach Wikipedia 2011)	17
Abbildung 3.2: Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und maximaler Überwärmung von Städten (Quelle: UWM 2011)	17
Abbildung 3.4: Flurwindsystem zwischen Stadt und Umland (Quelle: Forkel 2008)	18
Abbildung 3.5: Temperaturdifferenz verschiedener Messstationen zur Messstation Klärwerk in Jena-Zwätzen (Quelle: Dörfer 2004)	19
Abbildung 3.6: Errichtung einer temporären Messstation in der Saaleaue durch den DWD (Quelle: Maercker 2011)	20
Abbildung 3.7a-d: Kaltluftsituation während autochthoner Wetterlagen im Stadtgebiet Jena	21
Abbildung 3.8: Schnitt durch das mit Kaltluft gefüllte Saaletal acht Stunden nach Simulationsbeginn auf der Linie Ammerbacher Platte – Steinkreuz/Kernberge (DWD 2012a)	22
Abbildung 3.9: Klimatope im Stadtgebiet Jena	23
Gute Kaltluftproduzenten: die Felder und Wälder in und um Jena (Quelle: Griebisch 2012)	25
Abbildung 3.10: Klimafunktionskarte für das Stadtgebiet Jena	26
Abbildung 4.1: Mittlere globale Lufttemperatur in Bodennähe 1850-2011 (Quelle: Met Office 2012)	27
Abbildung 4.2: Entwicklung des atmosphärischen anthropogenen CO ₂ -Mischungsverhältnisses, der globalen CO ₂ -Emissionen, des weltweiten Bruttoinlandsprodukts sowie der Weltbevölkerung (logarithmische Darstellung) (Quelle: Kuttler 2011a)	28
Abbildung 4.3: Entwicklung der Sommertage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	30
Abbildung 4.4: Entwicklung der heißen Tage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	30
Abbildung 4.7: Entwicklung der saisonalen Niederschlagsmengen an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	30
Abbildung 4.5: Entwicklung der Frosttage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	31
Abbildung 4.8: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationsperiode I an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	31
Abbildung 4.6: Entwicklung der Eistage an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	31
Abbildung 4.9: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationsperiode II an der DWD-Klimastation Jena-Schillergässchen	31
Abbildung 5.1: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen für verschiedene Landnutzungen in Jena im Zeitraum 1971-2000 (Quelle: DWD 2012b)	33
Abbildung 5.2: Mittlere jährliche Anzahl an Sommertagen im Zeitraum 1971-2000	34
Abbildung 5.3: Veränderung der mittleren jährliche Anzahl an Sommertagen für die Periode 2021-2050	36
Abbildung 5.4: Auswirkungen des Saalehochwassers im Bereich Oberaue am 14. April 1994 (Quelle: LaNaServ/D. Stremke)	37
Abbildung 5.5: Überflutete Baugrube der Goethe-Galerie nach einem Hochwasserereignis an der Leutra im April 1994 (Quelle: Stadt Jena)	37
Abbildung 5.7: Betroffenheit durch Hochwasser und Überschwemmungen im Stadtgebiet Jena	38
Abbildung 5.6: Überschwemmung einer Straßensenke in der Löbstedter Straße nach einem Regenereignis am 17. Juli 2012 (Quelle: Lerm)	39
Abbildung 5.8: Klimatische Wasserbilanz für das Sommerquartal im Stadtgebiet Jena (Periode 2021-2050)	40
Abbildung 5.9: Wasserversorgung der Vegetation im Stadtgebiet Jena für die Periode 2021-2050	42
Abbildung 5.10: Erodierendes Material auf einer Straße im Ortsteil Kunitz nach einem Starkregenereignis am 11. Mai 2011 (Quelle: Stadt Jena)	43
Abbildung 5.11: Potenzielle Erosionsgefährdung im Stadtgebiet Jena	44
Abbildung 5.12: Überflutung einer der Hauptverkehrsstraßen von Jena durch ein Starkniederschlagsereignis am 5. Juli 1993 (Quelle: TLZ)	45
Abbildung 5.13: Schäden durch den Orkan Emma in der Jahnstraße, Jena 2008 (Quelle: Mustafa)	47
Abbildung 5.14: Risiko-Konflikt-Karte – hohe Betroffenheiten im Stadtgebiet Jena	49
Gut angepasst an trockenere Bedingungen: Orchideen auf (Halb-) Trockenrasen (Quelle: Lerm 2008)	51
Der Klimawandel begünstigt den Anbau von Sonderkulturen: Weinberg im Ortsteil Kunitz/Laasan (Quelle: Lerm 2010)	53
Klimakomfortinseln sind in Jena nie weit: Park an der Kahlaischen Straße (Quelle: Griebisch 2012)	56
Straßengrün und Wasserflächen verbessern das städtische Mikroklima, z. B. am Phyletischen Museum (Quelle: Lerm 2012)	57
Abbildung 6.1: Perspektivenwechsel beim „Climate proofing“ im Vergleich zur Umweltverträglichkeitsprüfung (Quelle: BMVBS 2011)	58

	Seite
Anpassungsmaßnahmen können in Bebauungsplänen festgesetzt werden: Bebauungsplan Eichplatz (Quelle: Stadt Jena 2010)	61
Neubaugebiete bieten die Möglichkeit, Klimaschutz und Klimaanpassung zu integrieren: Bebauungsplan Hausberg (Quelle: Stadt Jena 2011)	64
Abbildung 8.1: Drei-Perspektiven-Ansatz im JELKA	66
Startbildschirm des JELKA	70
Abbildung 9.1: Planungshinweise für das Stadtgebiet Jena	72
Starkregenereignisse verstärken den Bodenabtrag in der Landwirtschaft: Acker im Ortsteil Kunitz/Laasan (Quelle: Stadt Jena 2011)	77
Windbruch als Folge extremer Wetterereignisse (Quelle: Gude 2007)	78
Hochwasserschutz durch Rückhaltebecken bei Ammerbach nach einem Starkregenereignis im April 1994 (Quelle: Stadt Jena)	80
Massenbewegungen sind, unabhängig vom Klimawandel, an den steilen Hängen des Saaletals keine Seltenheit (Quelle: Lerm 2008)	82
Abbildungen Ortsteile: (Quelle: Stadt Jena 2012) ausser Seite 107: Ortsteil Neulobeda (Quelle: M. Miltzow/Weimar 2010) und Seite 110: Ortsteil Winzerla (Quelle: Lerm 2009)	84-113
Abbildung 10.1: Prozess der Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen (Quelle: Gebhardt et al. 2012)	115
Abbildung 11.1: Nettoflüsse der bewerteten Handlungsoptionen, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)	120
Abbildung 11.2: Rangfolge der bewerteten Handlungsoptionen, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)	120
Abbildung 11.3: Räumung am Leutra-Rechen 2006 (Quelle: Stadt Jena)	121
Abbildung 11.4: Nettoflüsse der bewerteten Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)	122
Abbildung 11.5: Rangfolge der bewerteten Ausführungsvarianten des Rechenbauwerks, PRIMATE-Ausgabe (Quelle: Gebhardt et al. 2012)	122
Abbildung 11.6: Rasenbahnkörper der Stadtbahn in Stuttgart (Quelle: AUS 2010)	123
Abbildung 11.7: Hofbegrünung in der Großbeerenstraße, Berlin-Kreuzberg (Quelle: GLB 2011)	124
Abbildung 11.8: Dachbegrünung auf dem FiftyTwoDegrees Business Innovation Center, Nijmegen/Niederlande (Quelle: GRPD 2010)	124
Abbildung 11.9: Hitzewarnkarte des DWD (Quelle: DWD 2012c)	125
Abbildung 11.10: Simulierter Oberflächenabfluss in Wuppertal (Quelle: IB Dr. Pecher 2012/Stadt Wuppertal 2012)	125
Abbildung 11.11: Aufweitungsarbeiten am Kettlerbach in Arnsberg (Quelle: Stadt Arnsberg 2012)	126
Abbildung 11.12: Beispielmodul des Bildungsordners „Klarkommen mit dem Klimawandel“ (Quelle: MKULNV NRW 2012)	127
Jena – auf dem Weg zur klimaresilienten Stadt (Quelle: Mustafa 2008)	129
Abbildung G1: Konzept für die Bestimmung der Verwundbarkeit (Vulnerability) und der Betroffenheit durch die Wirkfolgen des Klimawandels (Quelle: BMVBS 2011)	139

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1: Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (Quelle: MUNLV NRW 2010)	16
Tabelle 3.2: Bewertung thermischen Stresses anhand des PMV-Indexes (predicted mean vote) (Quelle: VDI 2008)	18
Tabelle 6.1: Bewertung städtebaulicher Leitbilder anhand der Prinzipien der resilienten Stadtentwicklung (Quelle: BMVBS 2011)	55
Tabelle 7.1: Zusammenstellung bauleitplanungs- und bauordnungsrechtlicher Möglichkeiten zur Anpassung an Auswirkungen des Klimawandels nach Baugesetzbuch (BauGB), Baunutzungsverordnung (BauNVO) sowie Thüringer Landesbauordnung (ThürBO) (Quelle: verändert nach SCB 2009)	62
Tabelle 8.1: Handlungsempfehlungen mit beispielhafter Wirksignatur	67
Tabelle 8.2: Beispielhafte Betroffenheitssignatur einer räumlichen Einheit	67
Tabelle 8.3: Berechnung des Vergleichswertes	68
Tabelle 8.4: Priorisierungsbeispiel im JELKA	69
Tabelle 9.1: Handlungsempfehlungen für das Stadtgebiet Jena (Abbildung 9.1)	74

WAS SIE AUF DER CD FINDEN

Handbuch

Das Handbuch einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung für Jena fasst die Ergebnisse des Bundesforschungsprojektes zusammen und dient der Stadt Jena und den lokalen Akteuren als Arbeitsgrundlage.

Kartenwerk

Das Kartenwerk beinhaltet räumlich differenzierte Aussagen zum städtischen Klima, zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Jena und entsprechende Planungshinweise für das Stadtgebiet.

Handlungskatalog

Der Handlungskatalog umfasst alle Handlungsempfehlungen mit weiterführenden Informationen zu Synergien, Konflikten, rechtlichen Grundlagen, Zeit- und Kostenrahmen etc.

JELKA

Das lokale Entscheidungsunterstützungswerkzeug JELKA bündelt die Anpassungsoptionen und bereitet sie nach den Perspektiven Klimawirkfolge, Handlungsfeld und Ortsteil auf.

Erstellt durch
**ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit
und Klimaschutz**

